



EESTI MAAÜLIKOOL

Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

**Christopher-Andre Kontus**

**PRÜGILAGAASI KOGUMINE VÄÄTSA, TORMA JA VILJANDI  
PRÜGILAS**

**LANDFILL GAS COLLECTION IN VÄÄTSA, TORMA AND VILJANDI  
LANDFILL**

Magistritöö

Linna- ja tööstusmaastike korralduse õppekava

Juhendajad: professor Mait Kriipsalu, *PhD*

professor Valdo Kuusemets, *PhD*

Tartu 2017

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Christopher-Andre Kontus		Õppekava:	
Pealkiri: Prügilagaasi kogumine Väätsa, Torma ja Viljandi prügilas			
Lehekülgi: 66	Jooniseid: 18	Tabeleid: 6	Lisasid: 3
Osakond: Keskkonnakaitse osakond Uurimisvaldkond: Keskkonnatehnoloogia, reostuskontroll (T270) Juhendaja(d): prof Mait Kriipsalu, prof Valdo Kuusemets Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2017			
<p>Üheks suuremaks inimtekkelise metaani allikaks peetakse prügilaid ning seetõttu peavad EL nõuetele vastavad prügilad olema varustatud aktiivse prügilagaasi kogumissüsteemiga.</p> <p>Magistritöö eesmärk on uurida erinevas arengufaasis prügilate prügilagaasi kogumist ja koguseid ning andmetest ja tulevikuperspektiivist lähtuvalt, soovitada võimalust prügilagaasi kogumise ja põletamise asendamiseks muu keskkonnasõbraliku lahendusega Viljandi, Torma ja Väätsa prügila näitel. Kõikidesse uuritavatesse prügilatesse on rajatud nõuetekohased prügilagaasi kogumissüsteemid.</p> <p>Magistritöö raames uuriti valitud prügilate prügilagaasi kogumist. Selleks koguti andmed jäätmete ladestamise ning prügilagaasi tekkimise ja seire kohta. Andmed, mis saadi prügila esindajatelt e-kirja, telefoni- ja lühiintervjuude teel, grupeeriti, ühtlustati, koondati tabelistesse ning parema ülevaate saamiseks koostati joonised. Prügilagaasi tulevikus tekkivaid koguseid prognoositi mudelit LandGEM abil.</p> <p>Tulemustest selgus, et nii Väätsa, Torma kui Viljandi prügilas tekib veel prügilagaasi, kuid aasta-aastalt jääb see üha lahjemaks ning ka kogused vähenevad. Saabub aeg, mil aktiivne gaasikogumissüsteem enam ei õigusta ning selle võiks asendada passiivsega. prügilad võiksid siis hakata gaasi lagundama bioloogiliselt, asendades veetiheda kattekihi täielikult või osaliselt metaanilagunduskattega, mille tarbeks võiks aegsasti hakata koguma materjali.</p>			
Märksõnad: prügilagaas, metaanilagunduskiht, aktiivne prügilagaasikogumissüsteem			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Christopher-Andre Kontus		Speciality: Management of Urban and Industrial Landscapes	
Title: Landfill gas collection in Väätsa, Torma and Viljandi landfill			
Pages: 66	Figures: 18	Tables: 6	Appendixes: 3
Department: Department of Environmental Protection Field of research: Environmental technology, pollution control (T270) Supervisors: prof Mait Kriipsalu, prof Valdo Kuusemets Place and date: Tartu 2017			
<p>The main anthropogenic source of methane are landfills, which therefore have to meet the EL regulations that require all landfills to be equipped with active gas collection systems.</p> <p>The aims of this Master's Thesis include the research of gas collection in landfills in various stages. All the analysed landfills are equipped with active gas collecting systems. The selected landfills have been thoroughly examined by monitoring the amount and composition of landfill gases in accordance to disposal of waste.</p> <p>Based on the aim of this Master's a broad range of data was collected from multiple sources including interviews, email communication and phone calls which allowed graphs and charts to be made. LandGEM model was used to analyse the yearly waste disposal to calculate and predict the amount of landfill gas.</p> <p>The statistics clearly show that the landfill gases in the examined landfills are diminishing. The examined landfills could possibly switch from active gas collection to passive, and accept a concept of methane decomposition layer to partially or completely replace landfill cover layer. Further analysis could be conducted to suggest whether the landfills should be partially or completely covered with the methane decomposition layer.</p>			
Keywords: landfill gas, methane degradation layer, active landfill gas collection system			

# SISUKORD

SISSEJUHATUS .....	6
1. TEOREETILINE ÜLEVAADE .....	8
1.1. Prügilagaas .....	8
1.1.1. Prügilagaasi koostis .....	8
1.1.2. Prügilagaasi teke.....	10
1.2. Prügilagaasi ohjamine.....	11
1.3. Metaanilagunduskate .....	14
1.3.1. Metaani bioloogiline lagundamine .....	14
1.3.2. Metaanilagunduskihti mõjutavad parameetrid .....	15
1.3.3. Metaanilagunduskihi materjal .....	18
1.4. Seadusandlus .....	20
1.4.1. Euroopa Liidu seadusandlus.....	20
1.4.2. Eesti Vabariigi seadusandlus .....	22
2. MATERJAL JA METOODIKA.....	25
2.1. Uuritavate prügilate kirjeldused .....	25
2.1.1. Väätsa prügil .....	25
2.1.2. Torma Prügil.....	27
2.1.3. Viljandi prügil.....	28
2.2. Prügilate andmed ja uurimismetoodika .....	30
2.2.1. Väätsa prügil andmed .....	30
2.2.2. Viljandi prügil andmed .....	31
2.2.3. Torma prügil andmed.....	31
2.3. LandGEM .....	32
3. TULEMUSED JA ARUTELU .....	34
3.1. Andmetöötamise tulemused .....	34
3.1.1. Väätsa prügil andmete töötamise tulemused .....	34
3.1.2. Torma prügilast andmete töötamise tulemused.....	37
3.1.3. Viljandi prügilast andmete töötamise tulemused .....	38
3.2. Prügilagaasi kogumise perspektiiv uuritud prügilates.....	41

3.2.1. Seni kogutud prügilagaas .....	41
3.2.2. prügilagaasi metaanisisaldus uuritud prügilates .....	43
3.3. Stsenaariumid .....	43
3.3.1. Keskkonnasõbralik lahendus järelhoolduse kaugemas etapis .....	44
3.3.2. MBT peenfraktsioonist prügilakate .....	45
KOKKUVÕTE .....	47
SUMMARY .....	50
LISAD .....	59
LISA 1. Väätsa prügila andmed .....	60
LISA 2. Viljandi prügila algandmed .....	64
LISA 3. Torma prügila algandmed.....	65

## SISSEJUHATUS

Üheks suuremaks inimtekkelise metaani allikaks peetakse prügilaid. Globaalse metaani emissioonist 70% on moodustunud inimtegevuse tagajärjel (Barker *et al.* 2007). Euroopas on kogu antropogeensest metaaniemissioonist jäätmetest tuleneva metaani koormus hinnanguliselt 30% ning Ameerika Ühendriikides hinnati selle suuruseks 1997. aastal kuni 37 % (Huber-Humer 2004).

Arengumaades kaasneb linnarahvastiku ja majandusliku arengu kasvuga olmejäätmete koguste suurenemine ning sellest tulenevalt on kasvanud ka globaalse metaani emissioon. Mitmetes arenenud riikides on see aga stabiliseerunud ning isegi vähenenud. Prügilatest eralduva metaani osatähtsus metaaniemissioonis on langenud peamiselt tänu selle kogumisele ja üha laienevale kasutamisele kogu maailmas. Lisaks on metaani teket vähendatud läbi jäätmetekke vältimise ja vähendamise ning jäätmete mehaanilis-bioloogilise ja termilise töötlemise (IPCC 2007).

Nõuetele vastav prügila, kus ladestatakse biolagunevaid jäätmeid, peab olema varustatud prügilagaasi kogumissüsteemiga (Prügila rajamise ... 2004). Pügilademetest tulenev metaan kogutakse kokku ja kasutatakse energia saamise eesmärgil. Igale prügilale on planeeritud maksimaalne täituvus, kuid kui orgaanilist ainet ei lisandu küllaldaselt, jääb tekkiv prügilagaasi kogus väiksemaks ning lahjemaks ehk sisaldab vähemal hulgal metaani. Sellise prügilagaasi põletamine on raskendatud ja majanduslikult mittetasuv. Olukorra lahendamiseks oleks otstarbekas katta prügilade metaanilagunduskihi, milles toimub mikrobioloogiline metaani oksüdeerimine.

Käesoleva magistritöö uurimisobjektiks on Väätsa, Torma ja Viljandi prügila. Neis kõigis on nõuetekohased prügilagaasi kogumissüsteemid. Väätsa prügila on töötav ning selles toimub aktiivne jäätmete ladestamine. Torma prügilas toimub 2017. aasta seisuga veel jäätmete ladestamine, kuid prügila sulgemisprotsess on käimas ja tööd plaanitakse lõpetada 2018. aasta jooksul. Viljandi prügila jäätmelade suleti 2012. aastal.

Magistritöö eesmärk on uurida erinevates arengufaasides prügilates tekkivaid prügilagaasi koguseid ja gaasi kogumissüsteeme ning lähtudes andmetest ja tulevikuperspektiivist, soovitada võimalusi prügilagaasi kogumise ja põletamise asendamiseks muu keskkonnasõbraliku lahendusega Viljandi, Torma ja Väätsa prügila näitel.

Käesoleva magistritöö uurimisülesanneteks on:

- anda ülevaade Väätsa, Torma ja Viljandi prügilate olukorrast ja gaasikogumissüsteemidest;
- selgitada välja, kuidas on prügilagaasi teke ajas muutunud ning kuidas on seda mõjutanud ladestatavate jäätmete kogused;
- selgitada välja võimalused Väätsa, Torma ja Viljandi prügilate gaasipõletussüsteemide asendamiseks keskkonnasõbralike lahendustega.

Püstitatud uurimisülesannete lahendamiseks kogutakse Väätsa, Torma ja Viljandi prügilast andmeid jäätmete ladestamise ning prügilagaasi seire kohta. Saadud andmete põhjal koostakse kokkuvõtlikud joonised ja tabelid, mis koondavad nimetatud prügilates kogutavate jäätmete ja prügilagaasi kogused aastate lõikes. Tabelite ja jooniste analüüs annab ülevaate kogutud prügilagaasi hulkadest ning nende muutumise tendentsist.

Töö autor soovib tänada oma juhendajaid Mait Kriipsalu ja Valdo Kuusemetsa nende nõuannete ja tiheda koostöö eest töö protsessi suunamisel ning tähelepanekute tegemisel. Samuti tänab autor Kalev Auna, Marina Lillepõldu ja Jargo Jürgensit prügilate ladestuse, prügilagaasi kogumise ja prügilate tausta andmete eest.

# 1. TEOREETILINE ÜLEVAADE

## 1.1. Prügilagaas

### 1.1.1. Prügilagaasi koostis

Jäätmete ladestamine prügilasse on levinud jäätmetest lahtisaamise viis, mis on eksisteerinud alates aegadest, kui inimesed koondusid asulatesse ja tekkiv prügi hakkas üle jääma (Wilson 1976). Üheks prügilatega kaasnevaks probleemiks on orgaaniliste jäätmete lagunemisel tekkiv ja atmosfääri lenduv gaas. Keskkonnaministri 29.04.2004 vastuvõetud määrus nr 38 "Prügila rajamise, kasutamise ja sulgemise nõuded" defineerib prügilagaasi kui igasugust gaasi, mis tekib prügilasse ladestatud jäätmetest (Prügila rajamise... 2004, § 2 lg 2).

Prügilagaasi koostises on peamiselt süsihappegaas ( $\text{CO}_2$ ) ja metaan ( $\text{CH}_4$ ), vähemal määral muid gaase nagu lämmastik ( $\text{N}_2$ ), hapnik ( $\text{O}_2$ ), vesiniksulfiid ( $\text{H}_2\text{S}$ ) (Rasi *et al.* 2014) ning teisi metaani mittesisaldavaid orgaanilisi ühendeid (ing k *Non-Methane Organic Compounds - NMOCs*) (Eklund *et al.* 1998). Prügilagaasi koostisosade tavapärane sisaldus protsentides on toodud tabelis 1.1.

**Tabel 1.1.** Prügilagaasi tavapärane koostis (Tchobanoglous & Kreith 2002)

Komponent	%
Metaan	45-60
Süsihappegaas	40-60
Lämmastik	2-5
Hapnik	0,1-1,0
Ammoniaak	0,1-1,0
Sulfiidid, disulfiidid	0-1,0



Vesinik	0-0,2
Süsinikdioksiid	0-0,2
Mikroelemendid	0,01-0,6

Prügilagaasi üks peamisi komponente on metaan. Tegu on värvitu ja lõhnatu gaasiga, mis tekib orgaanilise aine lagunemisel hapnikuvabas keskkonnas. Antud gaas on vähemürGINE, kuid lämmatav ja kergestisüttiv, muutudes õhus plahvatusohtlikuks alates 5% kontsentratsiooni juures (Streese & Stegmann 2003). Hinnanguliselt tekib maailmas metaani 500-800 miljonit tonni CO<sub>2</sub>-ekv/aastas ja prognooside kohaselt tõuseb see 2050. aastaks 2900-ni (Bogner *et al.* 2007). Metaanitekke allikad on nii looduslikud (sood, vulkaanid), kui antropogeensed (põllumajandus, jäätmete ladestamine).

2004. aasta seisuga moodustab metaan kogu antropogeensest kasvuhoonegaasi emissioonist 14,3 protsenti. Globaalsest metaani emissioonist moodustab inimtegevuse tagajärjel tekkinud metaan 70 protsenti (Barker *et al.* 2007). Bogner *et al.* (2007) järgi moodustab metaan globaalse jäätmesektori gaasi emissioonist 18 protsenti ning sellest enamus tuleb prügilatest.

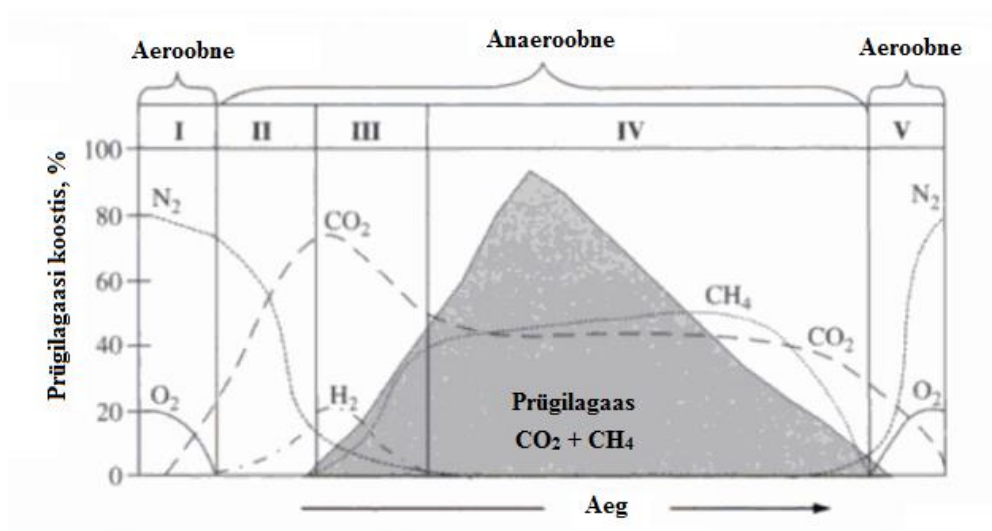
Prügilagaasi teine peamine koostisosa on lõhnatu ja värvitu süsihappegaas. Rahvusvahelise kliimamuutuste paneeli (*International Panel of Climate Change*)(2013) andmetel on selle kogus atmosfääris võrreldes 1750. aastaga kasvanud 278 ppm-lt (ing k *parts per million* - osakest miljoni kohta) 391 ppm-le 2011. aastaks. See tähendab, et CO<sub>2</sub> kogus atmosfääris on suurenenud 39% ehk tõus on peaaegu kahekordistunud (IPCC 2013). Metaani kogus on sama baasaastaga võrreldes kasvanud 722 ppb-lt (ing k *parts per billion* - osakest miljardi kohta) 1803 ppb-le, mis on enam, kui kahekordne kogus (IPCC 2013).

Metaani eluiga atmosfääris on umbes 10 aastat. Võime absorbeerida infrapunakiirgust muudab metaani globaalse kliimasoojenemise seisukohast 20-30 korda intensiivsemaks võrreldes CO<sub>2</sub>-ga. Metaani kõrge keemiline aktiivsus võimaldab sellel osaleda ka reaktsioonides, mis muudavad atmosfääri keemilist koostist. Troposfääris aitab metaan hüdroksüülradikaalidega reageerides tekitada ka teisi kasvuhoonegaase (CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>). Samade reaktsioonide tulemusel tekib veeaur, mis omakorda aitab kaasa stratosfääri osoonikihi hävinemisele (Lelieveld *et al.* 1993, ref Le Mer & Roger 2001).

### 1.1.2. Prügilagaasi teke

Prügilagaas tekib orgaanikat sisaldavate jäätmete lagunemisel mikroorganismide poolt anaeroobses keskkonnas. Ühe tonni jäätmete bioloogilise lagunemise korral tekib umbes 160 kuni 250 m<sup>3</sup> prügilagaasi (Abichou *et al.* 2004, Humer & Lechner 1999). Tekkiva gaasi koostis sõltub prügila vanusest, jäätmete omadustest ja jäätmelademe veesisaldusest.

Prügilagaasi teke jaotub viide faasi, millest esimeses ehk algfaasis toimub jäätmete ladestamise ajal ning mõnede nädalate vältel pärast ladestamist jäätmete aeroobne lagunemine. Ladestamise käigus jääb jäätmete vahele õhku, mida tarbivad mikroorganismid lagundades jäätmete orgaanilise osa veeauruks ja süsihappegaasiks (Williams 2005). Teises faasis (siirdefaas) hakkab olemasolev hapnik otsa saama, sest atmosfäärne hapnik ei pääse jäätmete massist läbi. Selle tulemusel hakkavad aeroobsed protsessid asenduma anaeroobsetega (joonis 1.1) (Tchobanoglous & Kreith 2002).



**Joonis 1.1.** Prügilagaasi koostis prügila eluea vältel (Williams 2005)

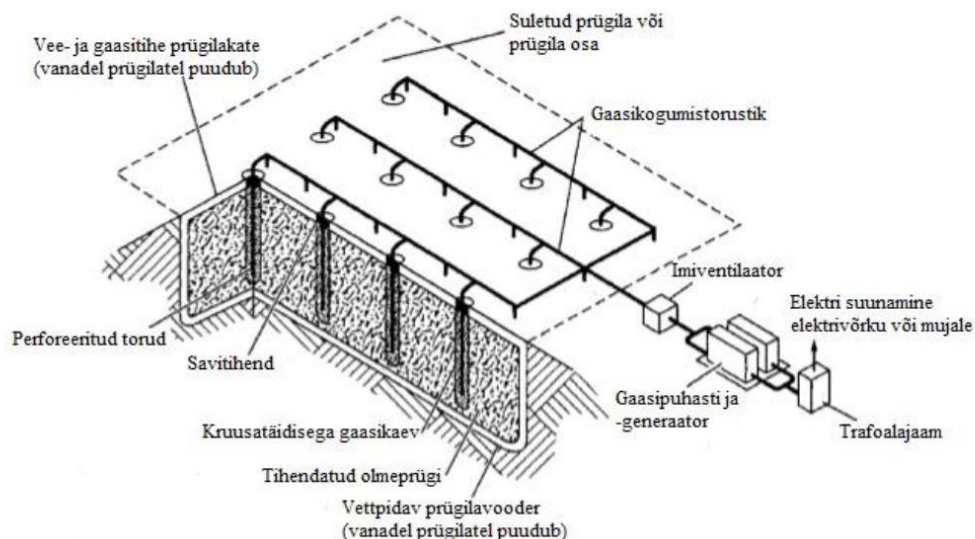
Prügilagaasi tekkimise kolmandas ehk happelises anaeroobses hüdrolyüüsi faasis asuvad tegevusse mikroorganismid, mis on kohastunud elama hapnikuvabas või väikese hapnikusisaldusega keskkonnas. Antud faasis toimub keerulisemate ainete lagundamine lihtsamateks ühenditeks, mis suurendab kergesti lagundatava orgaanilise aine kogust. See faas võib kesta kümneid aastaid (Kriipsalu *et al.* 2016).

Eelviimases, metaankäärimisfaasis, hakkavad domineerima mikroorganismid, mis muudavad atsetaadi ja vesiniku metaaniks ja süsihappegaasiks (Kriipsalu *et al.* 2016). Lisaks muudetakse eelmises faasis tekkinud vesinik süsihappegaasi koosmõjul omakorda metaaniks ja veeks (Hrad 2010). Üleminek stabiilsesse metaankäärimisfaasi võib kesta aastaid (Kriipsalu *et al.* 2016).

Viies, ehk stabiilne faas jõuab kätte, kui kättesaadav orgaaniline materjal on muudetud metaaniks ja süsihappegaasiks. Selles faasis lenduvad tekkinud gaasid atmosfääri või tarbitakse osaliselt mikroorganismide poolt, kes kasutavad metaani ainsa süsiniku ja energiaallikana. Pideva toitainete veega sügavamale uhtumise tõttu väheneb antud faasis oluliselt prügilagaasi teke (Hrad 2010, Tchobanoglous & Kreith 2002).

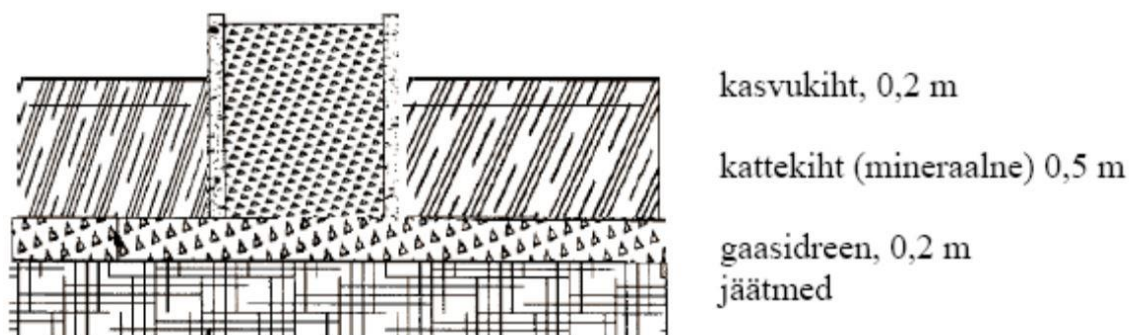
## 1.2. Prügilagaasi ohjamine

Prügilagaasi lendumist ohjatakse, et vähendada atmosfääri küllastumist, minimeerida haisu levikut ja kasutada ära metaanis leiduv energia. Prügilagaasi kontrollimatu levimise vältimiseks kasutatakse aktiivset süsteemi (joonis 1.2),



**Joonis 1.2.** Aktiivne gaasikogumissüsteem (Heinsoo 2016, ref Tchobanoglous & Kreith 2002)

mille abil gaas kogutakse ja põletatakse või passiivset süsteemi (Joonis1.3), mille abil lastakse gaasil vabalt lenduda (Kriipsalu *et al.* 2016).



**Joonis 1.3.** Olmeprügila kattekiht ja gaasi väljapääsuava (Vändra prügila... 2009)

Aktiivse gaasikogumissüsteemi puhul on peamised etapid: gaasi kogumine, transport, puhastamine ja tarbimine (Youcai & Ziyang 2017). Selleks vajalikud seadmed on gaasikogumistorustik, kondensatsioonivee püünised, gaasikompressor, tungalpõleti ning elektrigeneraator (Tchobanoglous & Kreith 2002).

Eralduva gaasi prügilast kättesaamiseks ja kogumiseks kasutatakse nii horisontaalset kui vertikaalset torustikku või nende kombinatsiooni. Horisontaalne kogumistorustik paigaldatakse tavaliselt prügilademe rajamise ajal, valmislademesse on lihtsam rajada aga vertikaalne kogumistorustik (Kriipsalu *et al.* 2016). Vertikaalse torustiku puhul paigutatakse püstised kaevud prügilalademesse sellise tihedusega, et kaevude mõjuraadiused osaliselt kattuks (Tchobanoglous & Kreith 2002). Ammutuskaevu mõjuraadius on 20-30 meetrit, mistõttu peaks kaevude vahekaugus üksteisest olema maksimaalselt 50 meetrit (Kriipsalu *et al.* 2016).

Prügila kehendis on gaas soe ja niiske. Prügilademest väljumisel gaas jahtub ja veeaur kondenseerub (Kriipsalu *et al.* 2016). Kondenseerunud vesi võib tekitada vesiluku, kui see katab mõnes torustiku osas toru terve selle ristlõike ulatuses ning tekitab ebaühtlast gaasivoolu. Selle vältimiseks rajatakse gaasitorustiku madalaimatesse kohtadesse

kondensatsioonivee püünised, kust kogutud vesi suunatakse nõrgveekogumissüsteemi (Tchobanoglous & Kreith 2002).

Üheks prügilagaasist lahti saamise levinud viisiks on selle põletamine tungalpõletis. Selle käigus metaan segatakse õhuga ja põletatakse. Põlemisel tekib süsihappegaas, mis lendub koos muude prügilagaasi koosseisus olevate gaaside, vääveldioksiidi ( $\text{SO}_2$ ) ja lämmastikoksiididega (Tchobanoglous & Kreith 2002). Kriipsalu *et al.* (2016) järgi peab vastavalt Saksamaa standarditele olema tungalpõleti 100 mm paksuse keraamilise voodriga ja temperatuur selles vähemalt 1200 °C. Lisaks peab heitgaas põletis viibima vähemalt 0,3 sekundit. Mida pikem ja peenem on tungalpõleti seda täielikum on põlemine, sest siis viibib gaas selles kauem. Mida kõrgem on temperatuur, seda rohkem aineosakesi oksüdeerub (Kriipsalu *et al.* 2016).

Gaasist elektri- ja soojusenergia tootmisel kasutatakse ühe võimalusena sisepõlemismootorit, kuhu suunatakse puhastatud metaan (Tchobanoglous & Kreith 2002). Bove & Lunghi (2005) võrdlesid levinuimaid sisepõlemismootoritel ja kütuseelemendil põhinevaid lahendusi. Tasuvusanalüüsist selgus, et traditsioonilised sisepõlemismootorid on küll keskkonnakaitse seisukohalt kehvamate tulemustega, kuid see-eest tuleb nende kasutamiseks teha väiksem investeering, kui puhtaima energia ülekandmisvõimega kütuseelemendil põhinevate lahenduste jaoks. Teiseks võimaluseks prügilagaasist energia tootmisel on selle põletamine tarbe- ja küttevee saamiseks. Gaasi põletamine tungalpõletis või energiasaamise eesmärgil sõltub prügila suuruselt, energia elektrivõrku müümise võimalustest ja gaasikatelde kasutamise võimalustest (Tchobanoglous & Kreith 2002, lk 732).

Prügilagaasist energia tootmisel selle energiasisalduse tõstmiseks on seda enne põletamist vaja puhastada. Nendeks variantideks on näiteks rauafiltrite kasutamine vesiniksulfiidi ärastamiseks, niiskuse püüdurid ja kuivatamine vee eemaldamiseks ja rõhu all süsihappegaasi adsorbeerimine (Ryckebosch *et al.* 2011). Rasi *et al.* (2013) järgi on oluline prügilagaasis sisalduvatest jääkgaasidest lahti saada, sest need tekitavad korrosiooni ja vähendavad boilerite ja põletite eluiga. Prügilagaasi surve all vee abil töötlemine võib tulemuseks anda kuni 9% metaani sisalduse (Rasi *et al.* 2010).

Metaanitekke vältimiseks või vähendamiseks võib prügiladet õhustada. Selleks puuritakse lademesse kaks puuraugurida, millest ühe kaudu puhutakse õhku sisse ning teise kaudu

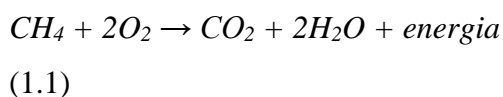
imetakse lagugaasid välja ja juhatakse õhubiofiltrisse. Õhustatud lademes metaanibakterid hukuvad, lagunemine muutub aeroobseks ning lagusaaduste koostis muutub. Gaasi seiratakse kahe puuraugurea vahel olevates seirepuurkaevudes ning kui metaan asendub hapnikuga, lülitatakse ventilaatorid välja. Kui prügilagaasi ilmub taas süsihappegaas, mis annab märku metaani peatsest tekkest, on õige aeg ventilaatorid mõneks ajaks sisse lülitada (Kriisvalu *et al* 2016)

### 1.3. Metaanilagunduskate

#### 1.3.1. Metaani bioloogiline lagundamine

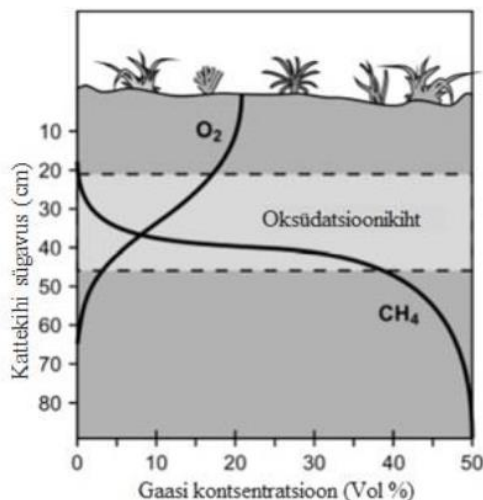
Jäätmete vananedes väheneb prügilast eralduvas gaasis metaani sisaldus. Gaas muutub lahjaks ning sellest ei ole võimalik elektri- ega soojusenergiat saada (Youcai & Ziyang 2017). Lisaks muutub metaani sisaldus eralduvas gaasis ebaühtlaseks (Lombardi & Carnevale 2016).

Prügilagaasis sisalduva metaani bioloogiline lagundamine saab toimuda tänu metanotroofidele (Abushammala *et al.* 2014). Nende prokarüootsete bakterite jaoks on tarbitav metaan ainuke süsiniku- ja energiaallikas (Kjeld *et al.* 2014). Metanotroofid oksüdeerivad metaani süsihappegaasiks ja veeks (valem 1.1) (Cao & Stazewska 2011). Vastavalt Scheutz & Kjeldsen (2002) uuringule on metanotroofid oma ainevahetuses võimelised lagundama ka muid keemilisi ühendeid, näiteks halogeenitud süsivesinikke ja aroomaatseid ühendeid ensüümi abil, mis võimaldab metaani ühendile hapniku aatomit lisada.



Kõikjal, kus esineb kokkupuude aeroobsete ja anaeroobsete süsteemide vahel ning tekib ja oksüdeerub metaan, esineb rohkearvulisi oksüdeerivate bakterite populatsioone (Huber-Humer 2004). Sellised võimalused tekivad prügilates, kus atmosfäärne hapnik seguneb prügila lademest kattekihti jõudnud metaaniga (Zeiss 2006, ref Hrad 2010). Oksüdatsioonikihi vajalik tüsedus oleneb sellest, kui palju on metaani. Mida rohkem seda on, seda kõrgemale kattekihti nihkub tsoon, milles elutsevad metaani tarbivad

mikroorganismid (Pedersen *et al.* 2010). De Visscher *et al.* (1999) uuringus leiti, et kõige tõhusam oksüdeerimine leiab aset umbes 20 cm sügavusel biokattes ning see langeb järsult juba järgmise 30 cm sügavuseni (joonis 1.4).



**Joonis 1.4.** Prügilakatte gaasikontsentratsiooni graafik (Pedersen *et al.* 2010)

Prügilagaasis sisalduva metaani oksüdeerimise soodustamiseks rajatakse prügilademe peale spetsiaalne kattekiht. Youcai & Ziyang (2017) uuringust selgus, et metanotroofid tarbivad prügilagaasis sisalduvat metaani enam, kui 66 % efektiivsusega.

### 1.3.2. Metaanilagunduskihti mõjutavad parameetrid

Prügilademest eralduva ja lagundatava metaani kogust mõjutavad mitmed parameetrid (Kjeldsen 1996, ref Hrad 2010):

- meteoroloogilised tingimused (tuul, sademed, temperatuur, õhurõhk);
- metaanilagunduskatte omadused ja seisukord (kattekihi materjal, poorsus, veesisaldus, orgaanilise aine sisaldus, difusioonivõime, praod ja mõrad);
- prügilademe seisund (gaasivoo määr)

Metanotroofide aktiivsus sõltub mulla temperatuurist. Temperatuuri tõustes tõuseb ka nende aktiivsus, madalate temperatuuride juures on nende tegevus pärsitud (Whalen *et al.* 1990).

Gebert *et al.* (2003) leidsid oma uuringus, et metanotroofide elutegevuseks optimaalne temperatuurivahemik on 20 - 38 (°C).

Czepiel *et al.* avastasid 2003. aastal tehtud uuringus tugeva pöördvõrdelise seose metaaniemissiooni ja õhurõhu vahel. See tähendab, et õhurõhu suurenedes väheneb metaani emissioon. Teisest küljest võib õhurõhu kiire tõus soodustada hapniku jõudmist sügavamale kattekihti soodustades metaani oksüdeerimist kohtades, kus seda tavaolukorras ei toimuks (Latham & Young 1993). Õhurõhu järsu alanemise tõttu võidakse metaan läbi oksüdeeriva kihi kiiremini välja tõmmata, kui metanotroofid seda lagundada suudavad,.

Metaanilagunduskihi rajamisel kasutatav pinnas peab olema piisavalt poorne, et võimaldada metaani jõudmist oksüdeerivasse kihti ja õhu ligipääsu metanotroofidele. Kightley *et al.* (1995) uuringust selgus, et jämeliivas oksüdeerub metaani tõhusamalt (61%) kui savis (40%) või peenliivas (41%). Gebert & Gröngroft (2009) töid oma uuringus välja, et metanotroofide varustamiseks difuusse hapnikuga piisab, kui kattematerjali poorsus on 17,5% (õhuga täidetud poorid materjali mahust). Metaanilagunduskiht peaks kogu sügavuses soodustama oksüdeerivate mikroorganismide levikut (Hrad 2010).

Metaanilagunduskihi niiskusesisaldus on oluline faktor, mis reguleerib metaani oksüdatsiooni, sest see mõjutab nii gaasi liikumist läbi kattepinnase kui ka mikrobioloogilist aktiivsust. Niiskuse muutumine mõjutab vaba ruumi olemasolu gaasi transpordiks poorides (Tecle *et al.* 2009). Scheutz & Kjeldsen 2004 leidsid, et kõige paremini oksüdeerus metaan 18-24% niiskussisalduse juures, kuid (Wang *et al.* 2011, ref Heinsoo) said parima tulemuse 30-40 % juures. Kattematerjali kuivamine toob kaasa märkimisväärse languse oksüdatsioonimääras. See võib olla põhjustatud metanotroofide veepuudusest tulenevast aktiivsuse vähenemisest (Mei *et al.* 2015).

Metaani bioloogiliseks oksüdeerimiseks on vaja üsna neutraalset keskkonda. Siiski suudavad mõned metanotroofid taluda ka pH taset 9 ja samas oksüdeerivad mõned bakterid ka ülihappelises keskkonnas, kus pH väärtus on 2 (Islam *et al.*, 2007; Huber-Humer, 2004, ref Hrad 2010). Üldiselt on metaani maksimaalseks lagundamiseks vajalik pH tase vahemikus 6,7-7,9 (Wang *et al.* 2011). Soovituslikult peaks kattematerjali pH tase jääma vahemikku 6,5-8,5 (Huber-Humer *et al.* 2009).

Uuringud on näidanud, et metaani oksüdeerimismäärad sõltuvad ka metaani kogustest. 1999. aastal leidsid Visvanathan *et al.* (1999) prügila kattekihi uuringus, et kui metaani oli rohkem,



siis ka selle oksüdeerimismäär oli suurem. Seos oli siiski ebaproportsionaalne, sest metanotroofide oksüdeerimisvõime on piiratud. Teisest küljest võib rohke metaanivoog takistada hapniku jõudmist pinnasesse, mis vähendab omakorda oksüdeerimismäära (Abichou *et al.*, 2004). Metaani voog sõltub metaani moodustumisest ja seda mõjutavatest teguritest jäätmematerjali sisaldusest ja nende lagunduvusest, ladestatud jäätmete mahust ja vanusest ning keskkonnatingimustest (Scheutz *et al.* 2009).

Kattepinnases leiduv orgaaniline aine varustab mikroorganisme toiteelementidega (Hrad 2010). Suure orgaanilise aine sisaldusega (35%) kompostitud materjalid on 10 kuni 100 korda suurema oksüdeerimisvõimega kui mullad, mille orgaanilise aine sisaldus on 1-10% (He *et al.* 2008). Tavamuldadega võrreldes on kompostmuldades oluliselt rohkem lämmastikku ja fosforit, mis teeb need arvestatavateks ehitusmaterjaliks prügila kattekihi rajamisel (Huber-Humer 2004). Samas on leitud, et reoveesettele jämeda liiva lisamine suurendab metaani lagundamise efektiivsust 26% võrra (Kightley *et al.* 1995).

Seos on leitud ka kattepinnase toitainesisalduse, metaani lagundamise efektiivsuse ja pinnase niiskussisalduse vahel. Niiskusesisalduse ja toitainesisalduse samaaegsel kasvamisel suureneb ka metaani oksüdeerimise efektiivsus. Albanna *et al.* (2007) uuringus lisati 30% niiskussisaldusega mullale väetist (1,5 g/kg mullale), metanotroofide efektiivsus tõusis selles 38%-lt 81%-ni ning statistiliselt võiks sama toiming 45% niiskussisalduse juures anda isegi kõrgema efektiivsuse. Samades tingimustes mõjus mineraalväetise lisamine 15% niiskussisaldusega mullale aga negatiivselt.

Metaanilagunduskatte heaks toimimiseks on oluline, et see oleks piisavalt tüse. 2008. aastal Austrias läbi viidud uurimusest selgus, et kõige efektiivsem on metaanilagunduskatte, mis koosnes 0,3-0,5 m paksusest jämedakoelisest gaasijaotuskihist ja sellel lasuvast kuni 1,2 m paksusest küpse komposti kihist, milles lagundati 95-99% tekkinud metaanist. Samas uuringus katsetati ka lahendusi, kus oli õhem kompostikiht ja puudus gaasijaotuskiht, kuid nendes ei toimunud metaani lagundamine nii efektiivselt (Huber-Humer *et al.* 2008, ref Heinsoo 2016).

Uuringud on näidanud, et taimestikul on oluline mõju metanotroofide aktiivsusele ja paljunemisele ning mulla füüsikalistele omadustele (Xiaoli *et al.* 2010). Taimestik kaitseb pinnast erosiooni eest ja reguleerib niiskust (Bohn and Jager, 2009). Lisaks tekitavad juured mitmesuguse suurusega poore ja soodustavad seeläbi hapniku sattumist pinnasesse. Stralis-

Pavese *et al.* (2004) uuringus selgus, et taimkattega kompostmullal põhinevas kattekihhis oli oksüdeerimisvõime ja bakterite mitmekesisus oluliselt suurem kui taimestamata mullal. Teisest küljest on metanotroofide mõju taimedele negatiivne, sest toimub konkurents hapniku suhtes, mis pärssib taimede transpireerimisvõimet ja juurte tungimist sügavamale mulda (Gerzabek & Reichenauer, 2006). Siiski leidub taimeliike, mis suudavad kasvada metaanirikkas keskkonnas. Mõned taimeliigid suudavad tekitada enda vartesse ja juurtesse õhuga täidetud kohti, mis soodustavad hapniku liikumist varrest juurtesse ja varustavad sellega isegi mullas elavaid mikroorganisme (Bosse & Frenzel 1997).

### **1.3.3. Metaanilagunduskihi materjal**

Metaanilagunduskatte koosneb kahest kihist: jäätmetel lasuvast hästi gaase läbilaskvast mineraalsest metaanijaotuskihist, ning selle kohal olevast tusedast metaanilagunduskihist, milles on sobivad elutingimused metanotroofidele (Hrad 2010). Metaani lagundava kihi rajamiseks saab kasutada mitmesuguseid materjale, jäätmeid, jääkmaterjale või nende segusid. Kasutatud on komposti (Huber-Humer *et al.* 2009, Einola *et al.* 2009), haljastujäätmeid (Mei *et al.* 2015), reoveeset (Börjesson *et al.* 1998) või olmejäätmete mehaanilis-bioloogilisel töötlemisel saadud peenfraktsiooni (MBT peenfraktsioon) (Cossu *et al.* 2003).

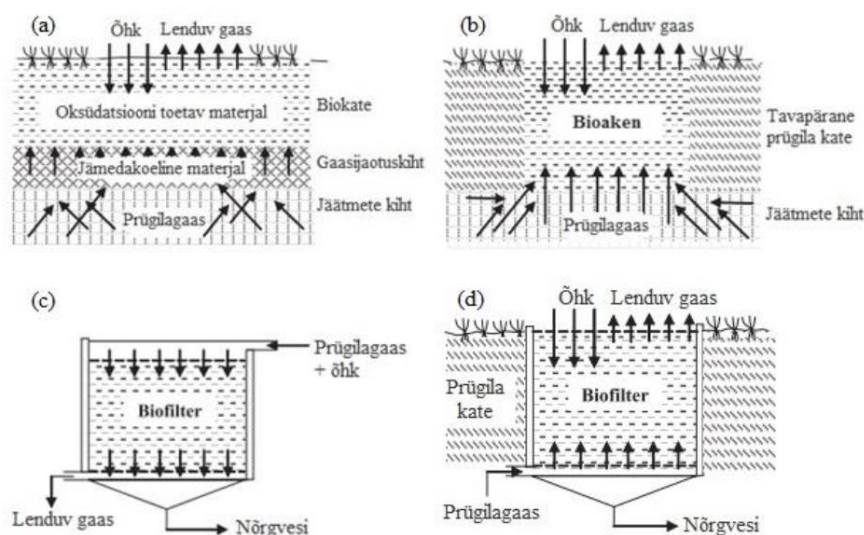
Börjesson *et al.* (1998) uurisid reoveeset sobivust metaanilagunduskatte materjaliks võrreldes seda mineraalmullaga. Uuringu tulemused näitasid, et küpsest reoveesetekompostist rajatud lagunduskihi oksüdeerimise efektiivsus ületas mineraalmulla, värske reoveeset, savi ja kahe viimase segu. Sarnasele tulemusele, mis väljendab küpse reoveekomposti eelist mineraalmuldade ees metaani lagundamise efektiivsuses, jõudsid ka Hrad *et al.* (2012). Einola *et al.* (2009) on leidnud, et reoveesetekomposti ja turba segu suudab kattekihina oksüdeerida enam kui 90% tekkivast metaanist.

Mei *et al.* (2015) uuringus võrreldi metaanilagunduskihte, mis oli valmistatud värsketest umbes kahe kuu vanustest ja umbes 24 kuud seisnud vanematest haljastujäätmetest ning võrreldi neid haljastujäätmetest tehtud kompostiga. Esimestel kuudel andsid haljastujäätmed metaani oksüdeerimisel häid tulemusi, kuid pärast teist aastat hakkas oksüdeerimisvõime

langema. See oli põhjustatud anaeroobsest vööndist, mis paiknes 60-80 cm paksuse kihi alumises osas, kus hakkas kihi enda sees täiendavalt metaani tekkima.

Cossu *et al.* (2003) uurisid erinevate materjalide käitumist metaanilagunduskihina. Materjalidest kasutati MBT peenfraktsiooni, segaolmejäätmete peenfraktsiooni, töödeldud biojäätmete ja reoveesette segu ning looduslikku mulda. Uuringu tulemused näitasid, et olmejäätmete stabiliseeritud peenfraktsioon oli teiste seast metaani oksüdeerimisel efektiivseim. Mehaanilis-bioloogilise töötuse käigus sorteeritakse esmalt jäätmed, et eraldada taaskasutatav materjal ja jäätmekütus ning järele jäänud materjalis olev orgaaniline aine lagundatakse bioloogiliselt. Saadud materjali puhul on väiksem tõenäosus, et kattekiht ise võiks hakata biogaasi eraldama (Cossu *et al.* 2003).

Metaanilagundava prügilakatte rajamiseks on mitmeid tehnilisi lahendusi. Suletud prügila võib üleni katta metaanilagunuskattega (ing k *bio-covers*), paigaldada vettpidavasse kattekihti mõned bio-aknad ehk metaanilagundusaknad (ing k *bio-windows*) (Abushammala *et al.* 2014, ref Heinsoo 2016) või juhtida kogu gaas läbi biofiltrite (ing k *biofilters*) (joonis 1.5) (Abushammala *et al.* 2014, ref Heinsoo 2016). Metaanilagundusaknaid ja -katteid rajatakse prügilademe integreeritud osadena, biofiltreid aga võib rajada nii lademe osana kui eraldiseisva süsteemina.



**Joonis 1.5.** Prügila metaanilagundava kihi rajamise tehnilised lahendused : a – metaanilagunduskate, b – metaanilagundusaken, c – eraldiseisev allavoolu põhimõttel toimiv biofilter ja d – prügila kattekihi integreeritud ülesvoolu põhimõttel toimiv biofilter (Abushammala *et al.* 2014, ref Heinsoo 2016)

Metaani oksüdeeriva katte koostis ja suurus valitakse olenevalt asukohast tulenevatele spetsiifilistele tingimustele (kliima, prognoositud gaasitook, sulgemisplaanijärgne maakasutus) (Huber-Humer *et al.* 2008). Metaanilagunduskatteid saab kasutada olukordades, kus aktiivne gaasikogumissüsteem ei tasu end rahaliselt ära või on tegemist vana prügilaga, kust gaasi ei tule palju (Hrad 2010). Eesti oludes võiks neid kaaluda aktiivse gaasikogumissüsteemiga prügilaisse arengujärku, kus tulevikus enam gaasi soojus- või elektrienergia tootmiseks ei jätku, või töötavasse prügilaisse tavapärase ajutise või lõppkattekihi asemele.

## **1.4. Seadusandlus**

### **1.4.1. Euroopa Liidu seadusandlus**

Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2008/98/EÜ (2008), sätestab, et igasuguse jäätme poliitika esmane eesmärk peaks olema vähendada jäätmete tekkimist võimalikult suurel määral ning vältida jäätmete käitlemisega kaasnevat kahjulikku mõju inimese tervisele ja keskkonnale. Samuti peaks jäätme poliitika eesmärk olema ressursside kadumise vähendamine ja jäätme hierarhia praktilise rakendamise soodustamine. Jäätme hooldust käsitlevate sätete põhieesmärk peab olema inimese tervise ja keskkonnakaitse jäätmete kogumise, vedamise, töötlemise, hoidmise ja ladestamisega seotud kahjuliku mõju eest (Euroopa Parlamendi... 2006).

Euroopa Liidu liikmesriigid on kohustatud kohaldama oma jäätmetekke vältimist ja jäätmete käitlemist käsitlevates õigusaktides ja poliitikas jäätme hierarhiat kui prioriteetide järjestust:

- a. vältimine
- b. korduvkasutuseks ettevalmistamine
- c. ringlussevõtt
- d. muu taaskasutamine, nt energiakasutus ja
- e. kõrvaldamine

Euroopa Liidu (EL) nõukogu direktiiv 1999/31/EÜ prügilate kohta (1999) sätestab, et liikmesriigid on kohustatud alates antud direktiivi täitmiseks vajalike õigus- ja

haldusnormide jõustumisest viie aasta jooksul vähendama prügilas ladestatavate biolagunevate olmejäätmete üldkogust 75 protsendini (massi järgi) võttes baasaastaks 1995. aasta või kõige hilisemal aastal enne 1995. aastat tekkinud biolagunevate olmejäätmete kogusest, mille kohta on olemas Eurostati standarditud andmed. Kaheksa aasta jooksul tuli viia ladestatavate olmejäätmete kogus 50%-ni ja 15 aasta jooksul 35%-ni baasaastaga võrreldes.

Liikmesriigid on kohustatud esitama üldinformatsiooni prügilagaasi kasutamise kohta energia tootmisel ning meetmed, mis on võetud kasutusele, et vähendada ohtu, mis võib tekkida inimeste tervisele ja keskkonnale prügilagaasi kogumisest, töötlemisest ja kasutamisest (Euroopa Ühenduste... 2000).

Iga asutus või ettevõtte, mis kavatseb töödelda ja ladestada jäätmeid, peab hankima selleks pädevalt asutuselt loa, milles on lisaks muule toodud välja sulgemis- ja järelhooldustingimused (Direktiiv 2008/98). Euroopa Liidu (EL) nõukogu direktiiv 1999/31/EÜ prügilate kohta (1999) (edaspidi: Prügila direktiiv) sätestab, et prügilaluba peab muuhulgas sisaldama käitamis-, seire- ja kontrolltoimingute kava ning sulgemis- ja järelhoolduskava.

Vastavalt prügila direktiivis (1999) sätestatule tuleb prügilagaasi koguda kõikidest prügilatest, mis võtavad või on võtnud vastu biolagunevaid jäätmeid. Kokku kogutud prügilagaas tuleb töödelda ja kasutada või ära põletada, kui seda pole võimalik kasutada energiatootmiseks. Prügilagaasi tuleb koguda, töödelda ja kasutada selliselt, et see ei põhjustaks keskkonnaseisundi halvenemist ega ohtu inimesele. See tähendab, et prügila valdajal on kohustus kogu seireperioodi jooksul kanda hoolt prügilagaasi eest olenemata selle hulgast või metaanisisaldusest.

Prügila käitaja peab viima prügila kasutusajal ellu kontrolli- ja seireprogrammi, mida on täpsemalt kirjeldatud prügila direktiivi lisas III "Kontroll ja seire kasutusajal ja järelhoolduse perioodil". Käitajal on kohustus seirata nõrgvett, pinnavett ja gaasiseiret tuleb teha sagedusega kord kuue kuu jooksul, kuid kui seireandmed näitavad, et pikemad ajavahemikud on sama tõhusad, võib proovide võtmiste vahelist aega pikendada. Nõrgvee seirel tuleb mõõta selle hulka ja selles sisalduvaid aineid. Põhjavee seirel mõõdetakse voolukiirust, pH-d, ning selles sisalduvaid aineid nagu fenoolid, raskmetallid, süsivesinikud, fluoriidid ja õlid

. Gaasi puhul tuleb mõõta metaani, süsihappegaasi ja hapnikusisaldust ning üldise pildi saamiseks ka muid väikestes kogustes esinevaid ühendeid (Euroopa nõukogu... 1999).

Vastavalt prügila direktiivi (1999) artikkel 13-le algab pärast prügila või selle osa lõplikku sulgemist selle järelhooldus, mille pikkuse määrab pädev asutus vastavalt sellele, kui pikalt võib prügila kujutada ohtu keskkonnale ja inimestevisele. Selle aja jooksul vastutab prügila käitaja selle korrashoiu, seire ja kontrolli eest ning katab tekkivad kulud. Käitaja teostab prügilale seiret vastavalt prügila direktiivi lisale III.

#### **1.4.2. Eesti Vabariigi seadusandlus**

Eesti Vabariigi jäätmehoolduse korralduse sätestab jäätmeseadus. See seab nõuded jäätmete tekke ning jäätmetest tuleneva tervise- ja keskkonnaohu vältimiseks, sealhulgas meetmed loodusvarade kasutamise tõhususe suurendamiseks ja sellise kasutamise ebasoodsa mõju piiramiseks, samuti vastutuse kehtestatud nõuete rikkumise eest (Jäätmeseadus 2004).

Jäätmeseaduses § 11 lõikes 1 nimetatakse jäätmehooldust kui jäätmekäitlust, jäätmekäitluse üle teostatavat järelvalvet ning jäätmekäitluskoha järelhooldust hõlmavat koondtegevust (Jäätmeseadus 2004). Jäätmehooldus oma alltegevustega moodustab terviku alustades jäätmete kogumisest kuni jäätmekäitluskoha järelhooldusperioodi lõppemiseni. Jäätmehoolduses tuleb juhinduda jäätmehierarhiast, mis seisneb jäätmete maksimaalses taaskasutuses ja sisaldab prügilasse ladestamist kui kõige viimast varianti, mida jäätmetega teha (Jäätmekäitluse hetkeolukord 2014).

Jäätmeseaduse § 33 viitab keskkonnaministri 01.01.2004 määrusele “Prügila rajamise, kasutamise ja sulgemise nõuded”, mis kehtestab muuhulgas ka keskkonnaseirenõudeid jäätmekäitluskohas ja selle ümbruses enne käitluse alustamist, käitlemisel, pärast käitluse lõppemist ning selle järelhoolduse ajal. Prügila rajatakse pärast selle asukoha ja liigi kindlaksmääramist ja ehitise kasutusloa väljastamist kasutusega vähemalt 25 aastat (Prügila rajamise... 2004, § 5-6). See tähendab, et koos järelhooldusperioodiga on prügilat vaja hooldada ja seiret teostada enam kui pool sajandit.

Nii kasutusel olevalt, kui suletud järelhooldusel olevalt prügilalt tuleb muuhulgas koguda ka eralduvat prügilagaasi. Määruses “Prügila rajamise, kasutamise ja sulgemise nõuded” § 15 lõigetes 1 ja 2 on sätestatud, et prügila, kus ladestatakse biolagunevaid jäätmeid, varustatakse

gaasipüüde ja -kogumise seadmetega prügilagaasi kontrollimatu kogunemise ja väljaimbumise vältimiseks ning teiste vajalike ehitiste ja seadmetega. Prügila käitamise ajal tuleb kogutud prügilagaas vajadusel eelnevalt töödelda ja seejärel taaskasutada. Taaskasutuseks mittesobiv gaas tuleb põletada (Prügila rajamise... 2004, § 29 lg 1-3).

Tavajäätmeprügila sulgemisel tuleb prügila katta gaasikogumise kihi, vettpidava mineraalkihi, vähemalt 0,5 m paksuse drenikihi ja vähemalt 1 m paksuse kattepinna kihiga (Prügila rajamise... 2004, § 35 lg 1 p 2). Siiski on pädeval ametil õigus lubada teistsugust prügilademe katmise konstruktsioonilist lahendust, kui see annab etteantud juhustega võrreldes sama tulemuse või kui prügila ohustab keskkonda tavapärasest vähem (Prügila rajamise... 2004, § 35 lg 2-3). Prügila käitaja on võimalikest prügilast lähtuvatest negatiivsetest keskkonnamõjudest põhjustatud kahju eest vastutav ka pärast selle sulgemist (Prügila rajamise ...2004, § 34 lg 5). Käitaja peab tegema järelhooldusnõuetele vastavaid ja vajalikke töid negatiivsete keskkonnamõjude vähendamiseks ning esitab pädevale asutusele kord aastas vastava aruande (Prügila rajamise ...2004, § 36 lg 1).

Aruandluse jaoks teostatava gaasiseire nõuded töötavatele ja suletud prügilatele (tabel 1.2) on prügila määruuses valdavalt samad, mis on sätestatud prügila direktiivis, kuid määrus lisab nõuetele lisaks veel ka gaasieemaldussüsteemi tõhususe kontrolli (Prügila rajamise ...2004, § 46 lg 1-5).

Jäätmeseaduse § 34<sup>1</sup> lõige 1 sätestab, et tasu, mida prügila käitaja võtab mistahes jäätmete prügilasse ladestamise eest, peab katma prügila rajamise, kasutamise ja sulgemise kulud ning niivõrd, kui see on võimalik, jäätmeseaduse seaduse § 91 punktis 5 nimetatud rahalise tagatise või kindlustuse kulud ja prügila järelhoolduse hinnangulised kulud perioodiks, mille pikkus on vähemalt 30 aastat (Jäätmeseadus 2004). See tähendab, et prügila järelhooldus kestab vähemalt 30 aastat ning see finantseeritakse prügila kasutusajal jäätmete vastuvõtmisest saadud tulust.

**Tabel. 1.2.** Kohalduvad ja mittekohalduvad gaasiseirega seotud kohustused töötavates ja suletud prügilates (Prügila rajamise... 2004)

	<b>Töötav prügila</b>	<b>Suletud prügila</b>
<b>Nõue</b>	<b>Kohaldub/Ei kohaldu</b>	<b>Kohaldub/Ei kohaldu</b>
Prügilagaasi kogumine	Kohaldub	Kohaldub
Prügilagaasi kasutamine (taaskasutamine energia saamise otstarbel või põletamine tungalpõletis)	Kohaldub	Kohaldub
Prügilagaasi heitkoguste ja rõhu mõõtmised (kord kvartalis)	Kohaldub	Ei kohaldu
Prügilagaasi heitkoguste ja rõhu mõõtmised (kord kuue kuu tagant)	Ei kohaldu	Kohaldub
CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> ja O <sub>2</sub> sisalduse mõõtmine	Kohaldub	Kohaldub
Gaasieemaldussüsteemi tõhususe kontroll	Ei kohaldu	Kohaldub

Prügila järelhooldus on kulukas toiming ja keskkonnaohu leevenedes tuleks seirekohustused üle vaadata. Seda ei ole Eestis veel varem tehtud, sest ükski prügila pole siin veel selles staadiumis.

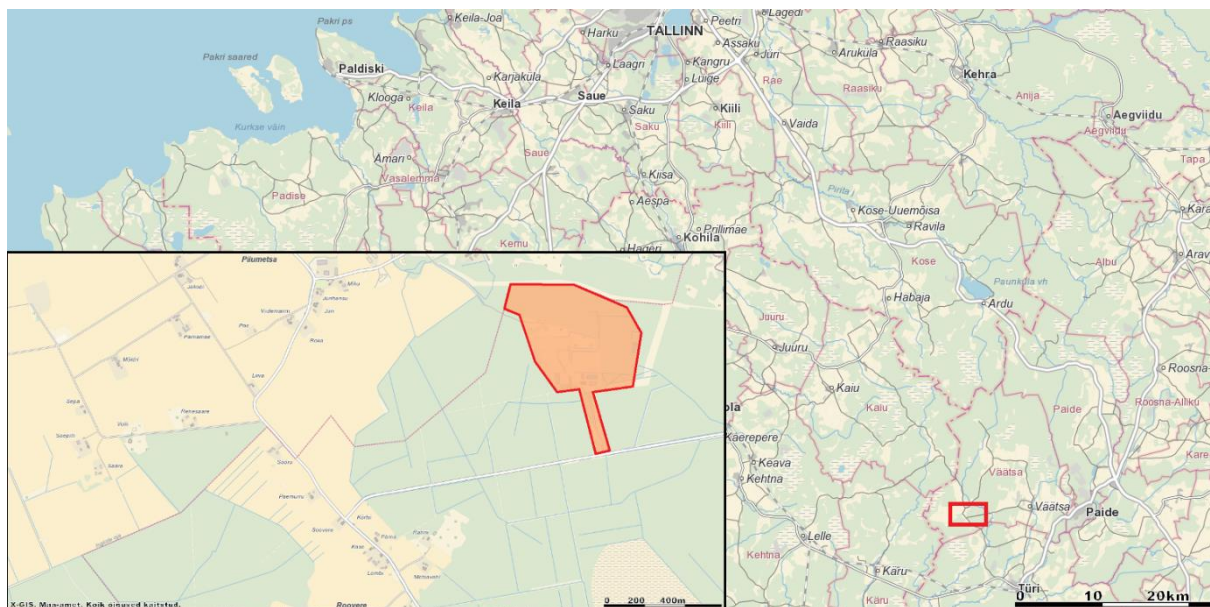


## 2. MATERJAL JA METOODIKA

### 2.1. Uuritavate prügilate kirjeldused

#### 2.1.1 Väätsa prügila

Väätsa Prügila on üks Eesti viiest Euroopa Liidu keskkonnanõuetele vastavast prügilast, mis asub Väätsa vallas Roovere küla põhjaosas (joonis 2.1). Maa-ala piirneb RMK Türi metsakonnale kuuluva metsamaaga lõuna- ja läänesuunast, idast Sihimetsa ja Kõrtsi maatulundusmaaga ning põhjast riigi reservmaaga. Väätsa prügila käitaja on äriühing AS Väätsa prügila, mis kuulub kümnele Järvamaa omavalitsusele. Prügila teeninduspiirkonna moodustavad Järvamaa, Jõgevamaa lääneosa, Raplamaa idaosa, Viljandimaa põhjaosa ja Harjumaa lõunaosa. Teeninduspiirkonda jääb umbes 100 000 inimest jäätmete kogukaaluga 20 000 tonni aastas. Kogu prügila täituvusajaks on planeeritud 30 aastat (avati aastal 2000) ning selle maksimaalseks täituvuseks on planeeritud 700 000 t (Väätsa prügila... 2006).



**Joonis 2.1.** Väätsa prügila asukoht (Maa-amet 2017)

Väätsa prügila võtab vastu paberi-, plasti-, pakendi- ja biojätmeid, vanarehve, elektri- ja elektroonikajätmeid, ohtlikke jätmeid, ehitus-, lammutus- ja puidujätmeid. Lisaks

teenindab prügila 2 jäätmejaama (Türi, Paide) ja 20 keskkonnajaama, mis asuvad valdavalt vallakeskustes. Väätsa Prügila AS omab keskkonnakompleksluba, keskkonnujuhtimissüsteemi ISO 14001:2015 ja kvaliteedijuhtimise ISO 9001:2015 sertifikaate (Aun 2017).

Väätsa prügila pindala on ca 29 ha ning olemasolevate kolme prügilademe pindala on ca 3,5 ha (Maa-amet 2017). Prügilas toimub lõppladestamine kolme ladestusalasse, ladestusalale kallutatud jäätmed lükatakse prügirulliga laiali ja tihendatakse. Prügi ladestamisel kasutatakse tehnikat, mis võimaldab ladestatud jäätmed tihendada mahumassini  $> 900 \text{ kg/m}^3$ . Päevase tihendatud prügikihi paksus on kuni 60 cm (Aun 2017).

Prügila rajamise ettevalmistustööd algasid aastal 1994 ning selle lõplik asukoht selgus aastaks 1997. Prügila avati 15. novembril, aastal 2000 millest alates hakkas prügila tegelema jäätmete kogumise, käitlemise ja lõppladestusega. 2003. aastal rajati ohtlike ainete ja ohtlike ainetega saastunud pinnase käitlusväljakud. Prügilagaasi kogumissüsteem ehitati välja 2004. aastal (Aun 2017).

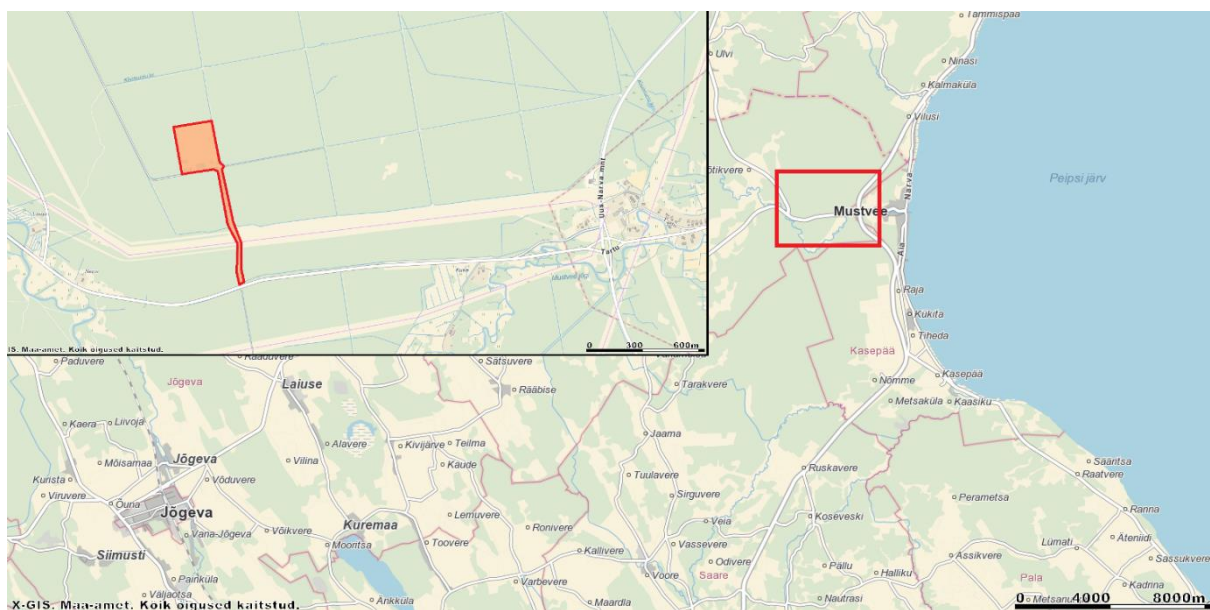
Prügilagaasi kogumiseks on ehitatud välja kogumissüsteem koos kompressorjaama ja põletiga. Tekkiv prügilagaas imetakse kompressori abil prügila kehandisse rajatud torude kaudu lademest välja. Seejärel liigub gaas gaasiboilerisse. Gaasi madala metaani kontsentratsiooni tõttu ei sütti see ise ning süütamiseks kasutatakse propaangaasi. Boileriga köetakse kontorihoonet ja Jäätmekeskus OÜ tootmishoonet. Gaasi metaanisaldus ja took varieeruvad ajas, mistõttu pole otstarbekas gaasi boilerit töös hoida ja tekkivad väikesed kogused põletatakse tungalpõletis (Aun 2017).

Prügilagaasi seire korras kogutakse andmeid gaasi koostise ja koguse kohta. Gaasi koostise puhul mõõdetakse portatiivse gaasianalüsaatoriga metaani ja hapniku sisaldust. Seiret teostatakse vähemalt kord poole aasta jooksul (Aun 2017).

Ladestusala täitumist kontrollitakse ladestatavate jäätmete kaalumise ja ladestusala geodeetiliste mõõdistamiste abil, mis viiakse läbi kord aastas. Mõõdistamise tulemusel määratakse ladestuse maht, nõlvade kalded ning arvutatakse ladestatud prügi tihendus. Nende andmete alusel hinnatakse prügikehandi stabiilsust (Aun 2017).

### 2.1.2. Torma Prügila

Torma prügila on üks viiest Eesti prügilast, mis vastab Euroopa Liidu keskkonnanõuetele ning sellel on olemas kehtiv keskkonnakompleksluba. Prügila asub Jõgevamaal Torma vallas Võtikvere külas (joonis 2.2). Prügila on kujunenud piirkondlikuks jäätme keskuseks ning sellele toetuvad ka omavalitsuste jäätmete kogumispunktid ja jäätmejaamad, millesse kogunenud taaskasutatavad jäätmed veetakse prügilasse edasisele töötlemisele (Torma prügila... 2017).



**Joonis 2.2.** Torma prügila asukoht (Maa-amet 2017)

Torma prügila esimene ladestusala projekteeriti 1997. aastal, 2001. aastal alustas see tööd. Aastal 2007 projekteeriti juurde teine ladestusala, millele lisandus 2009. aastal kolmas ladestusala (Torma prügila... 2017).

Prügila maa-ala üldpindala on 6,2 ha, millest jäätmete ladestusalad moodustavad 2,5 ha. Olemasolevad kolm ladestusala on ehitatud üksteisega kokku ja moodustavad terviku. Esimese ladestusala nõlvad on silutud ja osaliselt kaetud ajutise kattega, milleks on MBT peenfraktsioon. Osaliselt on sama tehtud ka teisel ladestusosal, kus ladestusala on saavutanud maksimaalse täidetuse. Kolmas ladestusala on veel täitmisel (Torma prügila... 2016).

Kokku on Torma prügilasse 2015. aasta seisuga ladestatud umbes 255 000 t jäätmeid, millest 120 000 t ladestati aastatel 2009-2012. 2013. aastast alates toimus ladestatud jäätmete koguse märkimisväärne vähenemine seoses nende taaskasutamise kasvu ja Iru jäätmepõletusjaama avamisega (Torma prügila ladestusalade sulgemiskava).

2011-2012. aastal ehitati välja prügila aktiivne gaasikogumissüsteem, mis koosneb prügila kehandisse paigaldatud kogumistorusid, kondentsvee kaevu ja kompressorjaama. Kompressorjaamas asub kollektor, kompressor ja tungalpõleti. Prügilagaasi seiret teostatakse kord kuue kuu jooksul ning selle käigus mõõdetakse eraldunud gaasi kogus, koostis ja rõhk (Torma prügila... 2017).

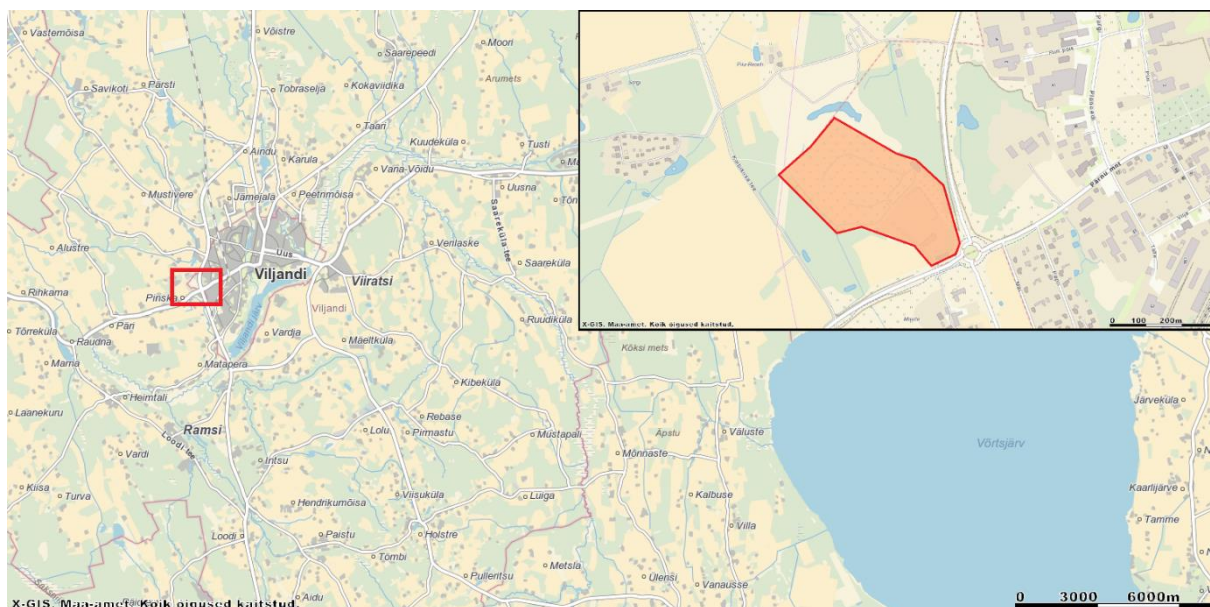
Keskkonnakompleksloaga on Torma prügila kogumahuks määratud 292 789 tonni jäätmeid, millest umbes 90% oli 2015. aasta lõpuks täidetud, ning 2017. aasta esimeses kvartalis alustati ladestusalade sulgemistöödega. Enamike töödega (sh. ülemise gaasikogumistorustiku rajamine ja gaasimaja paigaldamine) plaanitakse 1. ja 2. ladestusalal lõpule jõuda 2017. aasta jooksul. Järgmisesse aastasse jääb bentoniitmati ja kaitsekihi paigaldamine ning huumuskihi paigaldamine ja haljastamine. Kolmandale ladestusalale nõlvuse andmine ja jäätmelademe sisese gaasitorustiku paigaldamine plaanitakse teha enamike 1. ja 2. ladestuala töödega samaaegselt 2017. aastal. Ülejäänud tööd (sh gaasikogumiskihi sisese torustiku paigaldamine) teostatakse pärast antud ladestusala mahu täitumist ja projekteeritud kõrguse saavutamist (Torma prügila... 2008).

Prügila katmisel rajatakse gaasitorustik ja gaasikogumiskiht ühtsena MBT peenfraktsioonist. Selleks kaevatakse torudele kaevised mis täidetakse samuti MBT peenfraktsiooniga, mis juhib tekkivat prügilagaasi paremini, kui ladestatud jäätmed. Kogumistorustik ühendatakse jäätmelademe tippu rajatava gaasikogumisjaamaga (Torma prügila ladestusalade sulgemiskava).

### **2.1.3. Viljandi prügila**

Viljandi prügila asub Viljandi linna lääneservas linna haldusterritooriumil (joonis 2.3). Prügila territooriumil on tava- ja inertsete jäätmete ladestusala, komposteerimisväljak, ohtlike jäätmete vastuvõtupunkt ja teenindustsoon masinate hoiuplatsi ja viilhalliga, kus toimub pressimisele mineva paberi ja plasti sortimine ja hoidmine. Viljandi prügila

sulgemistöödega alustati 2010 ning prügilade suleti ja kaeti 2012. aastal. Prügila võtab siiski vastu jäätmeid, kuid kohapeal ei toimu lõppladestust, vaid vastuvõetud jäätmete sorteerimine (Viljandi prügila... 2008).



**Joonis 2.3.** Viljandi prügila asukoht (Maa-amet 2017)

Viljandi prügilasse on aja jooksul jäätmeid ladestatud ühtlase kihina suurele territooriumile, mille tulemusena kujunes järskude nõlvadega keskelt tasane mägi. Nõlvad kujundati laugemaks pärast jäätmete vastuvõtu lõppemist aastal 2009. Sulgemiskujuks projekteeriti kuplikujuline jäätmelade. Jäätmeid ei tihendatud nende ladestamise ajal, mistõttu tehti seda buldooseri sulgemisprotsessis mäe kujundamise ajal. Enne sulgemistööd oli prügilademe pindala umbes 6,5 ha, sulgemistööde käigus lükati prügi kokku 5,2 ha-le. (Viljandi prügila... 2011).

Viljandi prügila jäätmelade koosneb suurelt jaolt olmeprügist, aga ka tööstuslikest puidujäätmetest, ehitusprahist ja komposteerunud puulehtedest. Lisaks esineb kruusast ja liivast vahekihte, mis oli suure tõenäosusega ajutiste pealesõiduteede pinnas (Viljandi prügila sulgemise ja projekteerimistööd 2011).

Prügilademe kattekonstruktsioon koosneb aluskihist, mis sisaldab ka gaasikogumistorustikku, vettpidavast kihist (bentoniitmatt), dreenaazikihist ja kattepinnaest. Bentoniitmatt muudab katte vettpidavaks, mis hoiab jäätmekihti sademete eest. (Viljandi prügila... 2011).



Drenaažikiht rajati 300 mm liivast. Kattepinnales eristati kattepinna ja kasvupinna, mille paksus on vastavalt 600 mm ja 100 mm. Kasvupinna sisaldas rohkesti huumust (Viljandi prügilala... 2011).

Prügilagaasi kogumiseks rajati prügilalademe pinnakihti niisutus-, ühendus- ja gaasikogumitorustik. Ühendustorustik lasub kahe meetri sügavusel ja niisutustorustik ühe meetri sügavusel prügilalademes. Ühendustorustik juhib tekkinud gaasi kompressorjaama (Biogaasi eraldussüsteem... 2011)

Gaasi kompressorjaam rajati kaetud prügilala tippu. Kompressorjaam asub merekonteineris, mis sisaldab eraldi ruume kontrollseadmetele, kollektorile ja gaasipuhurile. Gaasi tekkimise suurendamiseks niisutatakse prügiladet. Prügilala territooriumile rajati kaks pumplat. Drenaažipumpla juhib drenaažitorustikuga kogutud nõrga niisutuspumplasse, ja vajadusel saab vett pumplasse juhtida ka pumpla lähedale rajatud tiigist (Viljandi prügilala... 2011).

Viljandi prügilas tehakse järelhoolduse korras jäätmelademe vajumise ning pinna- ja põhjavee seiret. Prügilat niidetakse regulaarselt. Kord poole aasta tagant mõõdetakse eralduva gaasi koguseid (Lillepõld 2017).

## **2.2. Prügilate andmed ja uurimismetoodika**

### **2.2.1 Väätsa prügilala andmed**

Andmed Väätsa prügilala gaasikogumissüsteemi ja prügilagaasi kohta saadi Väätsa prügilala juhatuse liikmelt e-kirja teel ajavahemikus 23. märts kuni 6. aprill ning kirjavahetuse käigus. Eraldunud gaasi andmed esitati Exceli tabeli kujul, aastate kaupa. Tabelites oli toodud metaani ja hapniku osakaalud kogu eraldunud gaasist ning gaasimõõtu näidud vastavalt mõõtmiskuupäevale. 2015. aastal ei mõõdetud eralduva prügilagaasi koguseid seireteostajate vahetumise tõttu. Lisaks esitas Väätsa prügilala esindaja ka gaasikogumissüsteemi rajamise maksumuse etappide kaupa ning antud süsteemi käimashoidmise aastase kulu.

13. aprillil käidi Väätsa prügilas kohapeal, kus tehti intervjuu kahe juhatuseliikmega. Lisaks tutvuti kohapeal prügilala gaasisüsteemi, käitlusseadmete ja prügilalademetega.

Prügilast eraldunud gaasi andmete korrastamiseks koondati kõik keskmise metaanisisalduse näitajad ja gaasimõõtuuri näidud koos mõõtmiskuupäevadega eri Exceli lehekülgedelt (lisa 1) kokku tabeli ühtsetesse veergudesse.

### **2.2.2 Viljandi prügila andmed**

Andmeid Viljandi prügila gaasikogumissüsteemi ja prügilagaasi kohta saadi AS Eesti keskkonnateenused töötajalt e-kirja teel ajavahemikus 12. kuni 25. aprill. Prügila gaasiprojekt ja muud lisadokumendid ning andmed gaasikogumissüsteemi, eralduvate gaasikoguste, ja jäätmete ladestusandmete kohta edastati kolmes jaos. Prügila sulgemiskava ja keskkonnamõjude hindamise aruandega tutvumiseks külastastati Keskkonnaameti Pärnu kontorit. Täiendavat infot gaasikogumissüsteemi toimivuse ja hoolduse kohta küsiti prügila esindajalt telefoni teel. Suletud prügila seire ja hoolduskulud saadi prügila esindajalt.

Andmed prügilagaasi kohta paiknesid erinevates Exceli failides 5 aasta kohta. Algandmed sisaldasid gaasimõõtuuri näite ning metaani sisaldust igas kollektoris tulevas gaasitorus. Iga aasta kohta oli tabelis neli mõõtmistulemust. Andmete koondamiseks tõsteti need kokku ühte faili ning korrastati aegread (lisa 2).

Andmetöötluse käigus leiti aastased kogutud gaasikogused, keskmised metaani sisalduse määrad ja gaasi kumulatiivne kogunemine aastate jooksul. Aastaste gaasikoguste leidmiseks summeeriti igas kvartalis tehtud mõõtmistulemused. Keskmiste metaanisisalduse jaoks leiti kõigepealt kõikide gaasitorude keskmine metaanisisaldus iga kvartali kohta ja seejärel keskmine tulemus iga aasta kohta. Kumulatiivsete gaasikoguste jaoks liideti iga-aastasele eraldunud prügilagaasi kogusele eelnevate aastate koguste summa.

### **2.2.3 Torma prügila andmed**

Vajalikud andmeid Torma prügila kohta saadi perioodil 17. kuni 27. aprill OÜ Amesop keskkonnajuhilt e-maili vahendusel. Lisaks saadi täiendavat infot prügila toimimisest ja hetkeolukorrast telefoni teel. Torma prügilast eraldunud gaasikoguste kohta andmeid ei edastatud, kuna madala metaanisisaldusega gaasi tõttu seal olenemata gaasikogumissüsteemi olemasolust, gaasi ei kogutud.

Olemasolevad ladestusandmed (lisa 3) sisestati programmi MS Excel 2013, kus vormistati diagrammi aastatel 2001 kuni 2015 ladestatud jäätmetest.

### **2.3. LandGEM**

Eraldunud prügilagaasi koguste prognoosimiseks kasutati tööriista LandGEM versiooni 3.02, mis on kättesaadav Climate & Air Coalition kodulehelt (Climate & Air Coalition 2017). Antud tööriist on mõeldud prügilagaasi emissioonide hinnanguliseks leidmiseks. Tulemuste saamiseks tuleb sisestada vajalikud algandmed. Tööriist koosneb üheksast Exceli töölehest, sealhulgas ka lähteandmete, tulemuste ja jooniste töölehest. Peamiste algandmetena tuleb sisestada prügila avamise aasta ja ladestatud jäätmete kogused aastate kaupa. Juhul, kui prügila pole veel suletud, saab sisestada planeeritud maksimaalne täituvus tonnides, peale mida prognoosib programm sulgemisaasta ja iga-aastased ladestuskogused. Lisaks saab sisendandmetes valida kuni neli gaasi, mida mudel arvutab ning neli gaasi parameetrit, millest kolm on metaani ja üks metaani mittesisaldavate orgaaniliste ühendite kohta.

Väätsa prügila andmetest sisestati algandmete töölehele aastased ladestusandmed perioodist 2000 kuni 2015, prügila avamise aasta (2000) ning planeeritav maksimaalne täituvus, 700 000 tonni. Kõikide prügilate puhul jäid kõik muudetavad gaasi parameetrid vaikimisi seatud väärtustega samaks. Väätsa prügila mudeli puhul vähendati metaani sisaldust vaikimisi seadistatud 50-lt 40-le protsendile. Kõigi aastate prügilagaasi metaanisalduse aritmeetiline keskmine. leiti andmetöötluse käigus.

Torma prügila andmetest kasutati mudeli sisendandmetena ladestusandmeid aastatest 2001 kuni 2017. Planeeritav maksimaalne mahtuvus on vastavalt Torma prügila keskkonnakompleksloale 292 789 tonni jäätmeid ning selle alusel mudeliga arvutatud sulgemisaasta. Ülejäänud seaded on jäetud vaikimisi olemasolevateks väärtusteks.

Viljandi puhul saadi ladestusandmed Viljandi prügila sulgemise keskkonnamõju hindamise aruandest. Viljandi sulgemishetkel oli sinna ladestatud hinnanguliselt 340 000 tonni jäätmeid. Andmeid jäätmete kaalumiseks on aga alates 2002. aastast, millele eelnevate



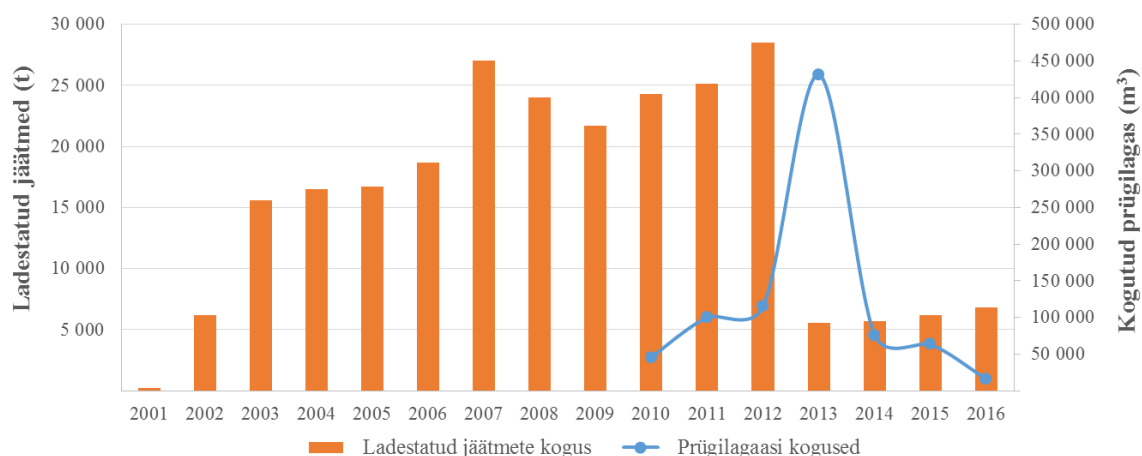
aastate kohta täpsed andmed puuduvad. Seetõttu on eelnevad andmed tuletatud kogu ladestatud jäätmete massist ning jaotatud vastava ajaperioodi peale.

### 3. TULEMUSED JA ARUTELU

#### 3.1. Andmetöötuse tulemused

##### 3.1.1. Väätsa prügila andmete töötuse tulemused

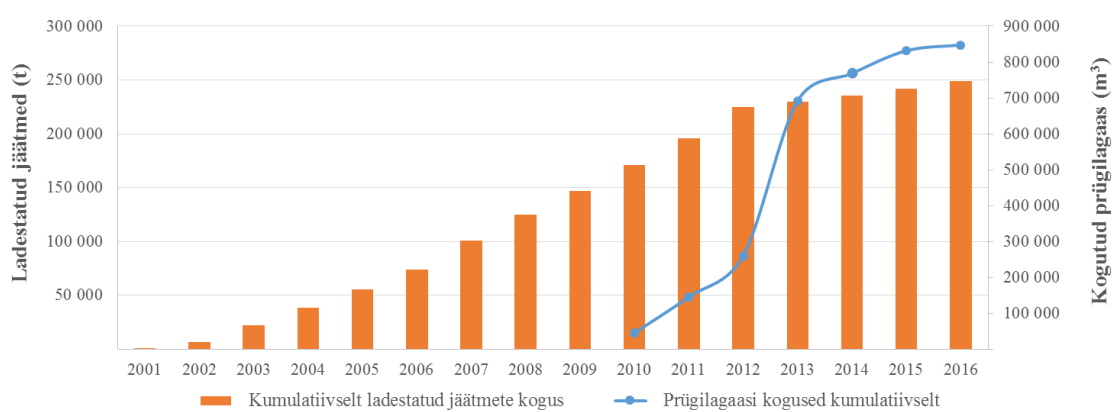
Väätsa prügilas on ajaperioodil 2001 kuni 2016 ladestatud kokku 248 745 tonni jäätmeid. Ülevaatliskuma pildi saamiseks on nimetatud ajaperioodil ladestatud jäätmete ja kogutud gaasikoguste kohta koostatud joonis 3.1.



**Joonis 3.1.** Väätsa prügila aastased ladestuskogused ja prügilagaasi kogused

Gaasimõõuri näitude põhjal on ajaperioodil 2010 kuni 2017 kogutud 1 082 471 m<sup>3</sup> prügilagaasi. Aastal 2010 koguti eraldunud prügilagaasi 45 581 m<sup>3</sup>. Järgneval kahel aastal suurenes aastane kogutud prügilagaasi kogus vastavalt 100 273 m<sup>3</sup> ja 115 114 m<sup>3</sup>-ni. 2013. aastal koguti prügilademest 431 115 m<sup>3</sup> prügilagaasi, mida on peaaegu kolm korda rohkem eelnevast aastast. 2014. aastal oli kogutava prügilagaasi kogus 2011 ja 2012 aasta tasemel ja langes 2015. aastaks 63 479 m<sup>3</sup>-ni. 2016. aastal oli jäätmelademest kogutud prügilagaasi kogus 16 092 m<sup>3</sup>. Prügilagaasi aastaste emissioonide joon graafikul viitab gaasi koguste vähenemisele.

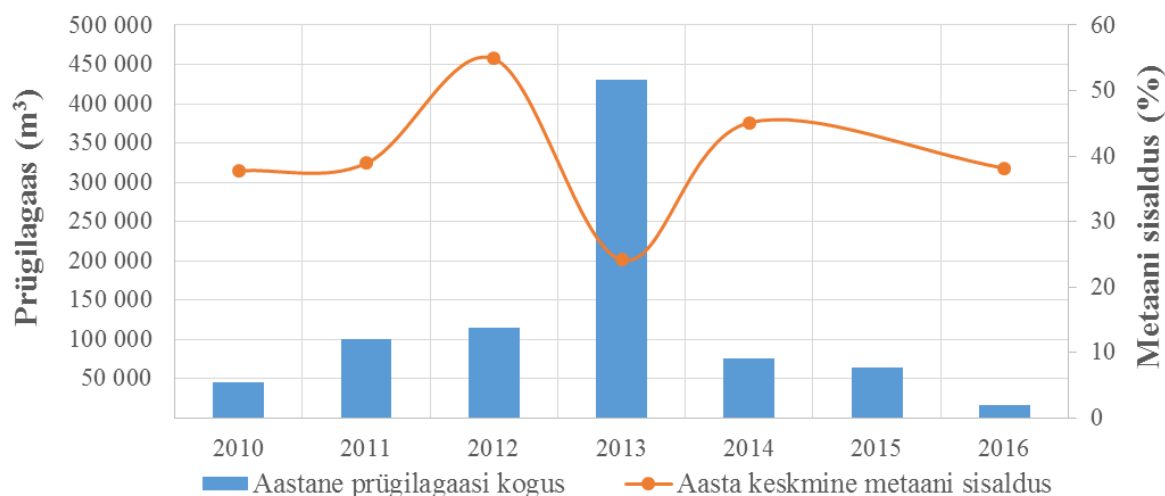
Ladestatud jäätmete ja kogutud gaasi hulkade vahel on näha seost. Gaasi kogumise alguses kasvavad kogutud gaasikogused sarnaselt ladestatud jäätmekogustega. Segaolmejäätmete ladestamise lõpetamisest alates aastal 2012 on näha ladestataivate jäätmete suurt vähenemist. Prügilagaasi kogumine püsib kõrge ühe aasta vältel ning langeb 2014. aastaks sarnaselt ladestatud jäätmetele. Kogutud prügilagaasi aastaste koguste sarnanemist ladestataivate jäätmete kogustega väljendab veelgi selgemalt joonis 3.2, kus on nii kogutud gaasi, kui prügilademesse pandud jäätmete kogused kujutatud kumulatiivselt.



**Joonis 3.2.** Vätsa prügilast kogutud kumulatiivsed prügilagaasi kogused ja ladestatud jäätmed

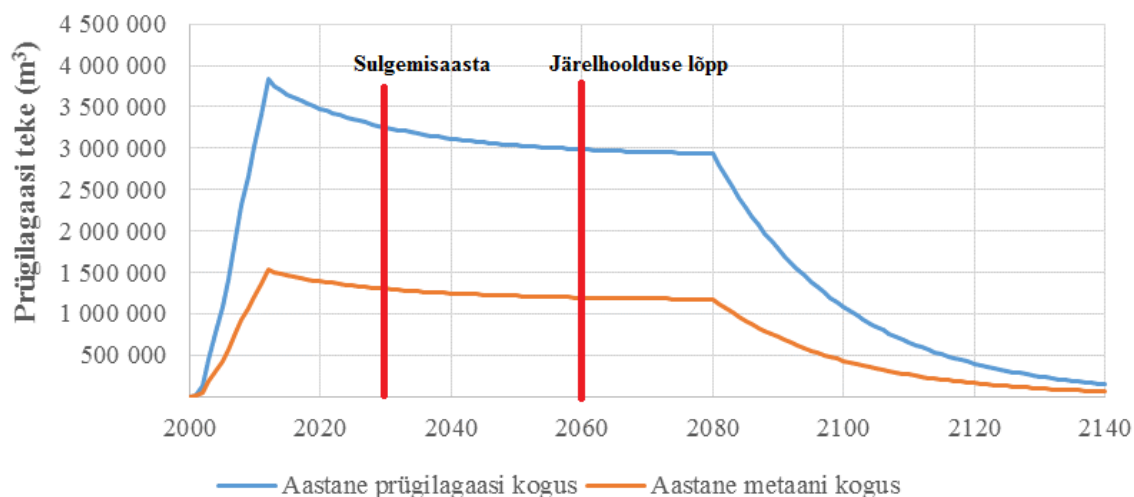
Vätsa prügilas kogutud prügilagaasis mõõdetud keskmine metaanisaldus on 39,9%. Aastal 2010 oli metaani aasta keskmine sisaldus 37,8% mis tõusis järgneval aastal 38,9%-ni. 2012. aastal tõusis metaani sisaldus 54,9% ning langes järgmisel aastal 24,1%-ni. Järgmistel aastatel jäi prügilagaasi metaani sisaldus 38% ja 45% vahele.

Prügilagaasi koguste ja metaani sisalduse vahel on võimalik näha seost. Aastatel 2010 kuni 2012 olid kogutud prügilagaasi kogused madalad võrreldes 2013. aastaga (joonis 3.3). Nendel aastatel on näha metaani sisalduse kasvu. 2014. aastal tõusis prügilademest kogutud prügilagaasi kogus ning samal aastal langes gaasis sisalduva metaani kontsentratsioon 31% võrra. Järgneval aastal olid kogutud prügilagaasi kogused mitmekordselt vähenenud, kuid metaani sisaldus gaasis tõusnud enam kui 20% võrra. Seega võib oletada, et kas mäest pumbati gaasi liiga palju välja või oli tekkiva metaani kogus liiga väike ja vähenes prügilademes tavapärase pumpamise käigus liiga kiiresti.



**Joonis 3.3.** Aastased prügilagaasi kogused ja aasta keskmine metaanisaldus Väätsa prügilas

LandGEM mudeli tulemused näitasid, et aastased prügila kehandist eraldunud prügilagaasi kogused tõusid järsult ning olid kõrgeimad aastal 2012 (joonis 3.4). Mudeli arvutuste põhjal on Väätsa prügila sulgemisaastaks 2079. Pärast sulgemisaastat langevad aastased prügilagaasi eraldumise kogused järsult. Joonise 3.4 põhjal võib järeldada, et alates aastast 2120 vähenevad eralduvad prügilagaasi kogused väikeste koguste võrra.

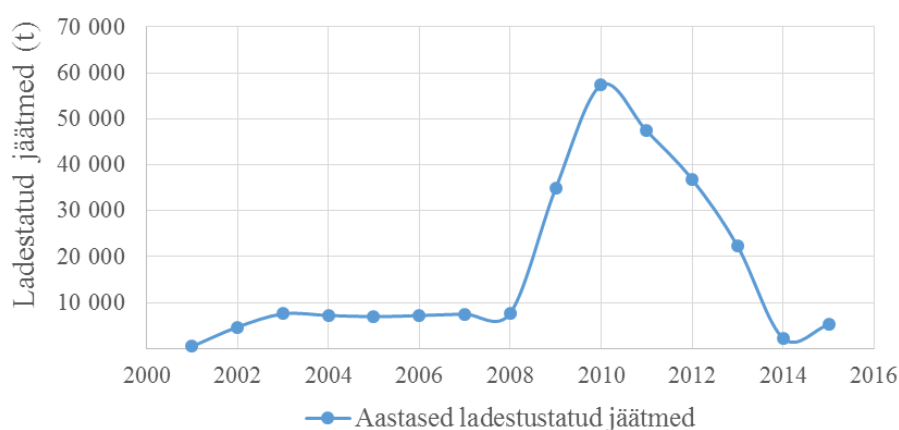


**Joonis 3.4.** Mudeli LandGEM prognoos Väätsa prügilas tekkiva gaasi ja metaani kohta

LandGEM mudel ei arvesta 2012. aastast alates ladestatavate jäätmete hüppeliselt madalamat orgaanilise aine sisaldust, mistõttu on sealt edasi gaasi kogused ülehinnatud. Siiski on võimalik jooniselt 3.4 näha gaasikoguste ajalist trendi, mis võib väiksemate koguste juures olla tõene.

### 3.1.2. Torma prügilast andmete töötamise tulemused

Torma prügilas on ajaperioodil 2001 kuni 2015 ladestatud kokku 255 331 tonni jäätmeid. Ülevaatliskuma pildi saamiseks on nimetatud ajaperioodil ladestatud jäätmete ja kogutud gaasikoguste kohta koostatud joonis 3.5.

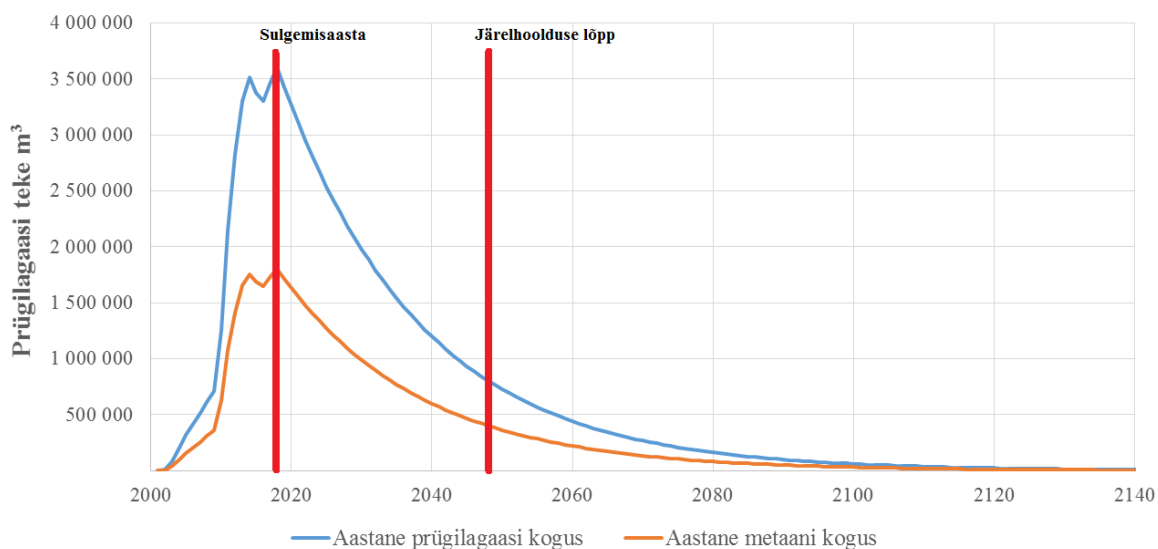


**Joonis 3.5.** Aastased jäätmete ladestuskogused Torma prügilas

Torma prügilas teostati 29.08.2014 prügilagaasi mõõtmine, kus 7 minuti jooksul vähenes metaani sisaldus prügilagaasis 58,1%-lt 37%-ni. Tulemusest järeldati, et prügilagaasi tekib mäe sees liialt vähe ja selle pidev kogumine oleks majanduslikult ebaefektiivne. 2015. aastal toimus Torma prügilas õnnetus, prügilagaasijaam muutus kasutamiskõlbmatuks, edasisi mõõtmisi ei saadud enam läbi viia ning seetõttu puuduvad hilisemad prügilagaasiseire andmed.

Mudeli LandGEMi prognoosist Torma prügila ladestusandmete põhjal selgub, et eraldunud gaasi aastased kogused jõuavad 2002 aasta tasemele tagasi aastaks 2141 (joonis 3.6). See näitab, et gaasi eraldumine lakkab peaaegu täielikult. Prügilagaasi teke on suurim prügila sulgemisaastal (2018) ning hakkab sealt alates järsult langema. Aastaks 2080 on aastane

gaasiteke vähenenud 2018. aasta kogusega võrreldes enam kui 95%. Järgnevatel aastatel pole aastaste gaasikoguste vähenemine enam märkimisväärne.

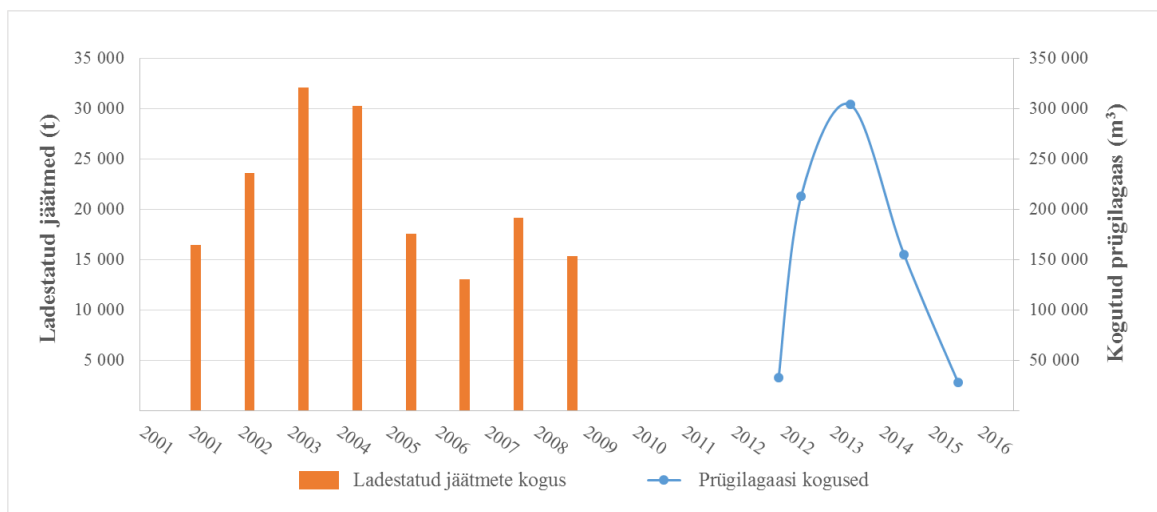


**Joonis 3.6.** Mudeli LandGEM prognoos Torma prügilas tekkiva gaasi ja metaani kohta

Jooniselt 3.6 tuleb välja, et Tormas prügilas on tekib suurim kogus metaani prügila sulgemisaastal, kuid selle aastased kogused vähenevad järelhooldusperioodil 3 korda. Aastatel 2050 ja 2040 ei ole eralduva metaani koguste vahe enam väga suur. Alates aastast 2050 tekib prügilas gaasi, kuid vähestes kogustes.

### 3.1.3. Viljandi prügilast andmete töötamise tulemused

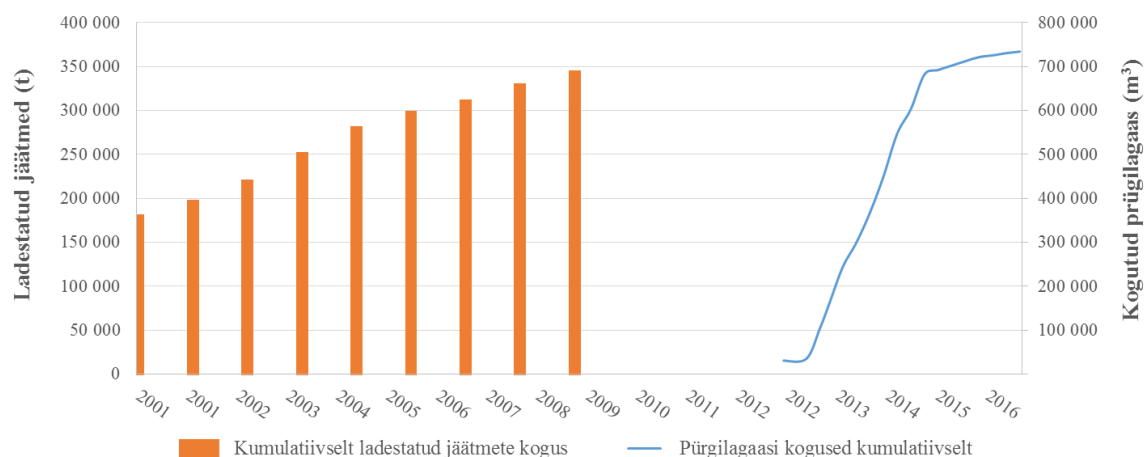
Viljandi prügilas on 1960-ndate aastate esimesest poolest kuni 2009. aastani ladestatud kokku 339 950 tonni jäätmeid. Ülevaatliskuma pildi saamiseks on nimetatud ajaperioodil ladestatud jäätmete ja kogutud gaasikoguste kohta koostatud joonis 3.7.



**Joonis 3.7.** Viljandi prügilas aastased jäätmete ladestus- ja gaasikogused

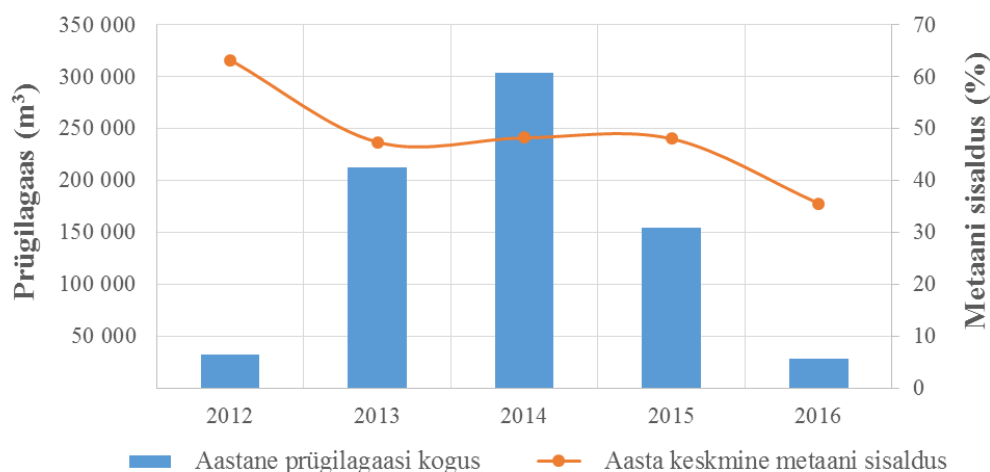
Viljandi prügilast on prügilagaasi kogutud alates aastast 2012 kuni aastani 2016 kokku 730 737 m<sup>3</sup>. Aastal 2012 koguti 31 106 m<sup>3</sup> prügilagaasi (joonis 3.7), järgneval kahel aastal koguti vastavalt 212 770 m<sup>3</sup> ja 303 725 m<sup>3</sup> prügilagaasi. 2015. aastal koguti prügilas kehast 154 834 m<sup>3</sup> ning järgneval aastal 28 301 m<sup>3</sup> prügilagaasi.

Viljandi prügilas ladestatud jäätmete ja kogutud gaasikoguste vahel pole sarnast seost, mida oli võimalik näha Väätsa prügilas puhul, sest jäätmete ladestamine ja nendest gaasi kogumine ei kattunud ajaliselt. Siiski on võimalik selgelt eristada kolme aastat jäätmete ladestamise peatamise ja gaasi kogumise alustamise vahel, mille ajal toimus prügilas katmine ja prügilagaasi kogumistorustiku rajamine. Kuna jäätmeid ei panda enam lademesse juurde, saab gaasi tekkida aina vähem. Jooniselt 3.7 on näha, et alguses tekkis gaasi suures kogustes, kuid see vaibus paari aasta jooksul. Kogutud gaasi koguste vähenemist on näha ka joonisel 3.8, kus on gaasi kogumise aastaseid koguseid kujutatud kumulatiivselt ning kus gaasikoguste kõver muutub laugemaks.



**Joonis 3.8.** Viljandi prügila aastased jäätmete ladestus- ja gaasikogused kujutatuna kumulatiivselt

Viljandi prügila prügilagaasis sisalduva metaani sisaldus väheneb. Aastal 2012 sisaldas väljapumbatav gaas 63,3% ning sellest järgneval aastal 47,4% metaani (joonis 3.9). 2014. aastal langes aasta keskmine metaani sisaldus 1% võrra eelneva aastaga võrreldes. Järgneval aastal tõusis aasta keskmine metaanisaldus väljapumbatavas gaasis 0,1% võrra ning langes 2016. aastal 38,9%-ni.

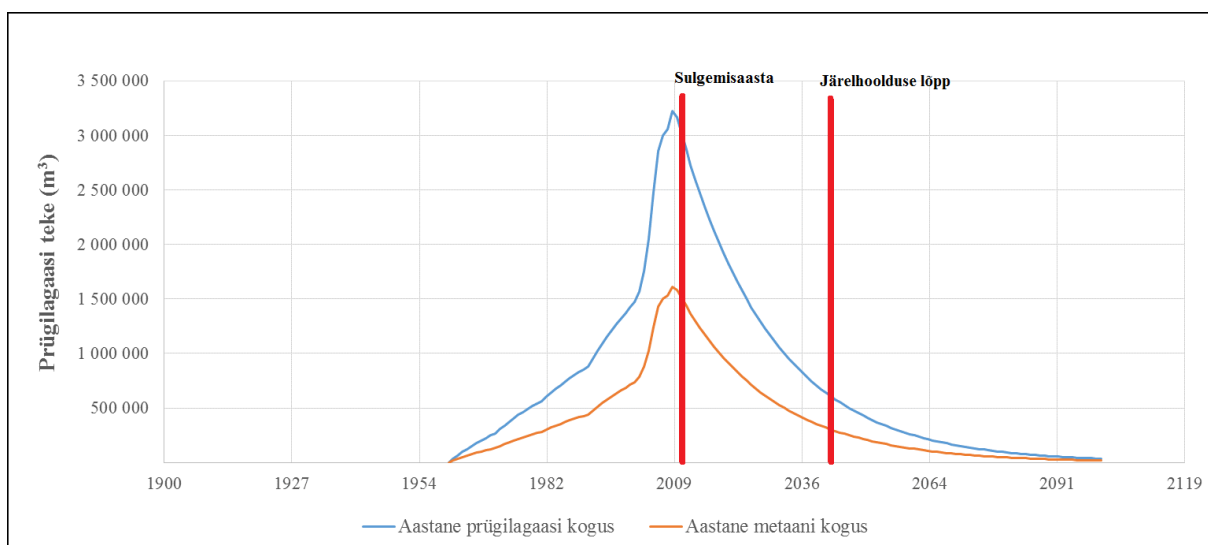


**Joonis 3.9.** Viljandi prügilast kogutud aastased prügilagaasi kogused ja nende metaani sisaldused

LandGEM andmete analüüsist selgus, et prügilast eralduvate gaaside aastased kogused kasvavad mõõdukalt alates aastast 1960. aastate algusest kuni aastani 1991 ning sealt edasi järsult aastani 2010. Alates 2011. aastast langeb gaasiteke järsult aastani 2048. Alates aastast



2074 on eraldunud gaaside kogused väikesed ning prügilagaasiteke on vaibumas (joonis 3.10).



**Joonis 3.10.** Mudeli LandGEM prognoos Viljandi prügilas tekkiva gaasi ja metaani kohta

Jooniselt 3.10 on näha, et Viljandi prügilas kõige enam prügilagaasi enne sulgemisaastat. Järelhoolduse lõpuks tekkib seda ca 15% maksimaalsest aastasest eraldunud prügilagaasi kogusest.

## 3.2. Prügilagaasi kogumise perspektiiv uuritud prügilates

### 3.2.1. Seni kogutud prügilagaas

Nii Väätsa, Torma kui Viljandi prügilas tekib prügilagaasi kahanevas trendis, mida näitavad aasta-aastalt vähenevad kogused. Väätsa prügilasse ladestatakse veel siiski jäätmeid, kuid nende orgaanilise aine sisaldus on kahanenud alla 20%, mistõttu tekib seal aina vähem prügilagaasi. Jooniselt 3.1 on näha, et aastatel 2014 ja 2015 saadi ladestatud jäätmete kohta samal määral prügilagaasi kui aastatel 2011 ja 2012. Selle põhjal võib järeldada, et prügilagaasi kogused muutuvad sarnase mustriga ka tulevikus vastavalt ladestud jäätmete kogusele.

Aastatel 2010–2012 ladestati Väätsa prügilas suur hulk jäätmeid, kuid prügilagaasi saadi võrdlemisi vähe. See oli arvatavast tingitud sellest, et esimesed ladestusalad olid katmata. Uusimale ladestusalale ladestatakse jäätmeid ka praegu. Juba 2004. aastal rajatud gaasikogumistorustik jääb üha sügavamale. Kuna tekkiv gaas liigub lademes kõrgemale, ei püüa sügaval asuv torustik seda enam kinni, mistõttu osa prügilagaasi paratamatult lendub.

Väätsa prügilast koguti aastatel 2014–2016 prügilagaasi vähem kui 2013. aastal (joonis 3.1). Samal ajaperioodil ladestati jäätmeid aga mõnevõrra rohkem. Kuna prügilasse ei ole alates 2013. aastast enam olmejäätmeid ladestatud, võib järeldada, et jäätmelademe orgaanilise aine sisaldus on madal, ning enamusest tekkinud prügilagaasist tuleb jäätmetest, mis ladestati enne 2013. aastat.

Väätsa prügila puhul on käesoleva töö tulemuste peatükis juba täheldatud aastaste gaasikoguste vähenemist eeskätt vähese orgaanikasisaldusega jäätmete ladestamise tõttu. Külmaperioodil 2016. aasta teises pooles ja 2017. aasta esimeses pooles esines olukordi, kus gaasiboiler ei töötanud stabiilselt. Seetõttu oli vaja tavapärasest rohkematel juhtudel süüdata gaasi propaani abil, mis on abistava meetmena küttesüsteemi sisse ehitatud ja käivitub automaatselt, kui prügilagaasi pealevool väheneb seaditsatud koguseni (suulised andmed, Kalev Aun). 2014. aastal ladestusalale rajatud prügilagaasi kogumissüsteemi on kogunenud prügilagaasi järjest vähem. Passiivse süsteemi jaoks tekib prügilagaasi veel siiski liiga palju.

Torma prügila prügilagaasi kogumissüsteemi andmed on puudulikud, sest 2014. aastal tehtud mõõtmiste käigus leiti, et eralduv prügilagaas on liiga lahja selleks, et seda aktiivselt koguda. 2015. aastal juhtus prügilagaasi kompressorjaamaga õnnetus, mistõttu polnud prügilagaasi aktiivne kogumine enam võimalik. Prügila sulgemistöde käigus rajatakse siiski uus prügilagaasi kogumissüsteem olenemata sellest, et prügilagaas on lahja.

Viljandi prügilast on prügilagaasi kogumine võrreldes Väätsa ja Tormaga olnud stabiilsem, sest jäätmelade on kaetud ning prügilasse ladestati kuni selle sulgemiseni orgaanikarikkaid jäätmeid. Seetõttu on Viljandi prügilagaasi kogumise andmetest saadud diagramm (joonis 3.7) sarnane Williamsi (2005) poolt kujutatud standardse prügilagaasi tekkimisega ajas (joonis 1.1).

### **3.2.2. Prügilagaasi metaanisisaldus uuritud prügilates**

Väätsa prügila prügilagaasi koguse ja metaanisisalduse seosest saab järeldada, et prügilagaasis sisalduv metaani hulk võib muutuda vastavalt kompressorile seadistatud võimsusele. Prügilagaasi metaani sisaldus oli keskmiselt 40%.

Torma prügilas mõõdetud prügilagaasi sisaldus vähenes 7-minutilise mõõteperioodi jooksul. Seega võib järeldada, et algselt mõõdeti varem prügila kehandisse kogunenud prügilagaasi, ning gaasi madala juurdevoolu tõttu vähenes kogutava gaasi hulk. Võib oletada, et mõõtetoru oli sinna kogunenud gaasi täis, aga mõõtmise käigus imeti see välja ja gaasi juurde enam ei tulnud.

Viljandi prügilas vähenes prügilagaasi metaani sisaldus perioodil 2012–2016 kolmandiku võrra: 63-lt 39-le protsendile (joonis 3.9). Tõenäoliselt vähenes metaanisisaldus prügilagaasis aastatel 2012–2014 kergeltlaguneva orgaanilise aine ammendumise tõttu: jäätmelademes tekkis vähem metaani, kuid kompressori võimsus jäi samaks. Metaanisisaldus vähenes ka kogutud prügilagaasi koguste vähenemise arvelt, millest võib järeldada, et kompressor töötab liiga suure võimsusega. Pole teada, kas tungalpõleti (maksimaalne võimsus 700 kW) töötaks kompressori võimsuse vähendamise korral stabiilselt edasi.

### **3.3. Stsenaariumid**

Prügilagaasi tekib jäätmelademesse aja jooksul aina vähem, mistõttu on selle välja pumpamine ja põletamine teatud hetkel raskendatud kui mitte võimatu ning majanduslikult kulukas (Pedersen *et al.* 2010). Keskkonnasõbraliku ja jätkusuutliku lahenduse leidmisel tuuakse välja alternatiivid, mis võivad uuritud prügilates ette tulla. Acumen projekti raames on toodud välja kaetud prügila prügilagaasi ohjamise võimalused (Acumen projekt... 2015):

- Prügilagaasi kogumine jätkub tavapäraselt (ei tee midagi)
- Aktiivne gaasikogumissüsteem ehitatakse ümber passiivseks
- Aktiivne gaasikogumissüsteem asendatakse metaanilagundusakendega
- Terve prügilademe kattekiht asendatakse metaani lagundava kattekihiga

Esimese stsenaariumi korral jätkub prügilagaasi aktiivne kogumine kompressori abil ning põletamine tungalpõletis. Metaanisisalduse vähenedes võib juhtuda, et gaas enam ei põle ning metaani hävitamiseks tuleb hakata tungalpõletisse lisama propaangaasi. Vastavalt määrusele (Prügila rajamise... 2004) tuleb gaasi koguda kogu järelhooldusperioodi jooksul ning kogutav gaas põletada.

Teise stsenaariumi korral lülitatakse välja aktiivse gaasi kogumissüsteemi osad: gaasikollektor, kompressor, tungalpõleti ja gaasiboiler ning asendatakse see gaasiväljalaskekaevudega. Prügila kattekihti kogunev gaas koondub kaevudesse ja suunatakse töötlemata kujul atmosfääri. Antud stsenaariumis ei töödelda gaasi termiliselt ega bioloogiliselt vaid see lihtsalt lendub. Passiivne gaasikogumissüsteem tagab selle, et prügila lõppkattekiht ei rebene ega saa muul moel kahjustada, kuid kasvuhoonegaas lendub.

Kolmanda ja neljanda stsenaariumi puhul rajatakse metaanilagunduskate, mida on kirjeldatud käesoleva töö peatükis 1.3: jäätmelademe peale rajatakse kate, kus oksüdeeritakse jäätmetes tekkiv metaan. Metaan laguneb looduslikult ning keskkond saab vähem kahjustada kui teise stsenaariumi korral. Viimase kahe stsenaariumi erinevus sõltub sellest, kui suures ulatuses avatakse lade ning asendatakse senine veetihe kattekiht (Torma ja Viljandi prügilate korral bentoniitmatt).

### **3.3.1. Keskkonnasõbralik lahendus järelhoolduse kaugemas etapis**

Nii Väätsa, Torma, kui Viljandi prügilates tekib veel prügilagaasi, kuid aasta-aastalt jääb see üha lahjemaks ning selle kogused väiksemaks. Torma prügilast eraldub gaasi kõige vähem, kuid on oodata, et seoses prügila katmisega hakkab seda mõnevõrra rohkem eralduma. Arvatavasti on see lühiajaline ning prügilagaasi kogused hakkavad vähenema sarnaselt Viljandi prügilale. Torma prügilas oleks soovitatav jälgida prügilagaasi tekkimist. Kui selle tekkekogused vähenevad sarnaselt LandGEM mudeli poolt arvutatud tulemustega sarnaselt

või veel kiiremini,, siis tasuks kattekihi ümberehitamist kaaluda juba järelhooldusperioodi keste.

Kui kogutud prügilagaasi hulgad vähenevad selliselt, et neid tungalpõletis enam põletada ei saa, võiks kaaluda kattekihi konstruktsiooni muutmist ning võtta kasutusele metaanilagunuskatte põhimõtted. Otsuse, kas rajada metaani lagundavast kihist aknad või katta prügila täies mahus, on vaja teha uuringuid ning arvestada tuleb ka kattematerjali kättesaadavusega.

Üheks heaks võimaluseks on kattekihi jaoks sobiv materjal Torma ja Väätsa prügilas aja jooksul eraldi varuda. Kasutada võiks MBT peenfraktsiooni, mida arvatavasti tuleb kokku segada mõne muu materjaliga (pinnas, reoveesete). Eeskuju saaks võtta Kudjape prügilast, kus prügilademe katmismaterjal saadi prügilademe osalisest läbikaevamisest (Kriipsalu & Koppel 2013). Viljandis saaks kattekihi materjali jooksvalt koguda, sest prügilas on endiselt töös jäätmejaam. Lisaks saaks seda hankida lähiümbruse jäätmekäitlejatelt või varuda tellimise peale.

### **3.3.2. MBT peenfraktsioonist prügilakate**

2014. aastal suletud Sillamäe prügila katmisel kasutati MBT peenfraktsiooni (Sillamäe prügila ... 2008). Antud prügilas võiks teha metaanilagunduskihi uuringuid, et veenduda MBT peenfraktsiooni sobivuses. Juhul, kui selgub, et antud materjal täidab oma ülesannet jäätmelademes tekkiva metaani oksüdeerimisel, saaks seda hakata varuma ka käesolevas töös uuritavate prügilate katmise jaoks.

Amesop OÜ (Torma prügila ... 2016) 2015. aastal tehtud analüüsist selgus, et olmejäätmetest biokütuse tootmisel saadud jäägi (MBT peenfraktsioon) orgaanilise aine sisaldus on vahemikus 8–13% ja pH jääb 7,4–7,7 vahele. Tavapinnases on orgaanilise aine sisaldus 5%, kuid soomuldades võib see ulatuda 95%-ni. Seega on antud materjal neutraalne ja üsna madala orgaanilise aine sisaldusega ning kasutatav rajatava kattepinnase ühe osana (Torma prügila KMH – lisa 12.6). Antud materjali metaani oksüdeerimisvõime on kõrgem, kui looduslikul mullal (Cossu *et al.* 2003).

Metaanilagunduskihi rajamine tuleks odavam, kui kasutada MBT peenfraktsiooni. Ettevõtte Ragn-Sells AS toodab olmejäätmetest biokütust, mille jääk (MBT peenfraktsioon) viiakse Torma prügilasse lõppladestamisele. Torma prügila võtab seda 2017. aasta seisuga vastu hinnaga 20 €/t. Seega võtab antud prügila vastu potentsiaalselt metaanilagunduskihi materjali ja saab iga tonni pealt ka tulu.

Väätsa prügilal kulus aktiivse prügilagaasi kogumissüsteemi (kogumistorustik, vesilukk, kompressorjaam, põleti, gaasiboiler, projekteerimine) ehitamiseks 133 283 eurot ning selle töökorras hoidmiseks umbes 5000 eurot aastas (Lõhmus 2017). Kui Väätsa prügila jäätmelade suletakse vastavalt määrusele „Prügila rajamise, kasutamise ja sulgemise nõuded“, tuleb sulgemise käigus kattekihti ehitada varasemalt rajatud kogumistorustikule lisaks veel üks kiht prügilagaasi kogumistorustikku. Teise ladestusala prügilagaasi kogumistorustiku rajamine Väätsa prügilas maksis koos projekteerimisega 10 066 eurot (Lõhmus 2017). Sellest võib järeldada, et antud prügila kolme sama suurusega ladestusala kogumistorustiku rajamine maksab enam, kui 30 000 eurot.

Eelpool kirjeldatust lähtuvalt on edasise uurimisvõimalusena väljatoodud Sillamäe prügila metaanilagunduskihi tõhususe uuringud. Positiivsete tulemuste korral võiks MBT peenfraktsiooni kasutada ka Väätsa prügila esimese ja teise ladestusala katmisel, kus tekkitab tõenäoliselt vähe prügilagaasi võrreldes kolmanda ladestusala, kus toimub aktiivne jäätmete ladestamine. Sel juhul jääks rajamata gaasikogumistorustik ja veetihe kiht (bentoniitmatt).

## KOKKUVÕTE

Prügilad, mis vastavad EL prügila direktiivis seatud nõuetele, peavad olema varustatud aktiivse prügilagaasi kogumissüsteemiga. Prügila käitajal on kohustus prügilagaasi koguda ja kasutada kas energiasaamise eesmärgil või põletada tungalpõletis. Vastav kohustus kehtib nii töötavate, kui suletud prügilate kohta.

Kui prügilasse enam jäätmeid ei ladestata või ladestatavad jäätmed on madala orgaanilise aine sisaldusega, hakkab tekkiv prügilagaas lahjenema ning ka selle kogused vähenevad. Sellisel juhul ei pruugi aktiivne prügilagaasi kogumissüsteem enam hästi toimida ja muutub majanduslikult mittetasuvaks.

Käesoleva magistritöö uurimisobjektiks oli Väätsa, Torma ja Viljandi prügila. Kõigis nimetatud prügilates on välja ehitatud nõuetekohased prügilagaasi kogumissüsteemid.

Magistritöö eesmärgist lähtuvalt uuriti valitud prügilate prügilagaasi kogumist. Selleks saadi andmed uuritavate prügilate jäätmete ladestamise ning prügilagaasiseire kohta. Andmed, mis koguti prügila esindajatelt e-kirja, telefoni ja lühiintervjuude teel, grupeeriti, ühtlustati, koondati tabelistesse ning parema ülevaate saamiseks koostati joonised. Prügilagaasi edasiste koguste prognoosimiseks vaatluse all olevates prügilates kasutati mudelit LandGEM.

Väätsa prügila avati aastal 2000, selle täituvusajaks on planeeritud 30 aastat ning 2012. aastast alates ei ladestata prügilasse enam olmejäätmeid. Aktiivne prügilagaasi kogumissüsteem ehitati välja aastal 2004. Ladestusalade aluse maa pindala on ca 3,5 ha. Käesoleva töö jaoks saadi prügilast andmed 2010–2016 aastatel teostatud prügilagaasiseire kohta. Andmete töötlemise tulemustest selgus, et prügila aastane prügilagaasi teke suurenes aastatel 2010–2013, mis on tõenäoliselt seotud aktiivse segaolmejäätmete ladestamisega. Kõige enam saadi prügilagaasi 2013. aastal. Sellele järgnevatel aastatel kogutud prügilagaasi hulgad vähenesid. See võis olla tingitud prügilasse ladestatavate jäätmete koguste vähenemisest ning nende madalast orgaanilise aine sisaldusest.

Torma prügila asub Jõgevamaal Torma vallas Võtikvere külas. Prügila alustas tööd 2001. aastal. Sulgemistöödega alustati 2017. aastal ning sellega plaanitakse lõpule jõuda 2018. aastaks. Ladestusalade aluse maa pindala on 2,5 ha ning 2012. aastal ehitati prügilas välja nõuetele vastav aktiivne prügilagaasi kogumissüsteem. Prügilagaasiseire andmetest on olemas vaid ühe mõõtmise tulemused. 2014. aastal teostatud seitsmeminutilise mõõtmise käigus leiti, et metaani sisaldus prügilagaasis vähenes 58,1%-lt 37-ni. Tulemusest järeldati, et prügilagaasi tekib mäe sees liialt vähe ja selle pidev kogumine oleks majanduslikult ebaefektiivne. 2015. aastal toimus Torma prügilas õnnetus, prügilagaasi jaam muutus kasutamiskõlbmatuks, edasisi mõõtmisi ei saanud enam läbi viia ning seetõttu puuduvad hilisemad prügilagaasiseire andmed.

Viljandi linna lääne servas asuvasse Viljandi prügilasse hakati jäätmeid ladestama juba 1960. aastal. Ladestusala aluse maa pindala on 5,2 ha. Aktiivne prügilagaasi kogumissüsteem rajati prügilasse 2012. aastal prügila sulgemisega käigus. Käesoleva töö jaoks saadi prügilast andmed 2012–2016 aastatel teostatud prügilagaasiseire kohta. Andmete analüüsil selgus, et kogutud prügilagaasi hulgad suurenesid kuni aastani 2014 ning vähenesid aastatel 2015 ja 2016. Kuna seire toimus suletud prügilas, kuhu jäätmeid ei ladestatud, sai prügilagaas moodustuda häiringuteta stabiilses keskkonnas ning kogumisgraafik sarnaneb kirjanduses toodud eeldatavale (Williams 2005) gaasitekke graafikule.

Prügilates eralduva prügilagaasi koguste prognoosimiseks kasutatud LandGEM-mudeli tulemused ei olnud ootuspärased. Mudeli poolt välja arvatud gaasikogused osutusid märkimisväärselt suuremaks kui uuritavatest prügilatest samal ajaperioodil gaasiseire käigus mõõdetud kogused. Põhjus võib olla selles, et valem, mille põhjal mudel töötab, võtab aluseks jäätmete kõrgema orgaanilise aine sisalduse, kui on uuritavatesse prügilatesse ladestatud jäätmetes.

Andmete põhjal koostatud joonistelt võib näha, et nii Väätsa, Torma kui Viljandi prügilas tekib veel prügilagaasi, kuid aasta-aastalt jääb see üha lahjemaks ning ka kogused vähenevad. Seetõttu soovitab käesoleva töö autor Väätsa prügilal sulgemiseks varuda metaanilagunduskatte materjali, millega võimaluse korral katta kogu jäätmelade. Nimetatud soovitus oleks majanduslikult efektiivsem ning ei nõuaks pidevat järelevalvet.



Torma prügila sulgemisel võivad eralduva prügilagaasi kogused ajutiselt suureneda, kuid aja möödudes hakkavad need vähenema sarnaselt Viljandi prügilale. Kui prügilagaasi kogused vähenevad selliselt, et neid tungalpõletis enam põletada ei saa, tuleks nii Viljandi kui Torma prügilas kaaluda kattekihi konstruktsiooni muutmist, asendades see kas osaliselt või täielikult metaanilagunduskattega.

Toetudes töö tulemustele võib teha edasisi ettepanekuid Torma ja Viljandi prügila kattekihi uuringuteks, et leida, millistest piirkondadest eraldub kõige enam prügilagaasi ning sellest lähtuvalt otsustada, kas katta alad täies mahus metaanilagunduskattega või osaliselt metaanilagundusakendega.

## SUMMARY

All landfills which correspond with the EL regulations must be equipped with active landfill gas collection systems. Landfill managers are obliged to collect and use it for energy purposes or flare. Corresponding obligation applies to both operating and closed landfills.

If waste in landfills is no longer deposited or deposited waste has low organic content, the quantity and the methane content of landfill gas decreases. In that case an active collection system may not work and may become economically inefficient.

The aim of this Master's Thesis is to research the amount of landfill gas and active landfill gas collection systems in landfills in various stages and to suggest different options to exchange an active gas collection system to environmental friendly solution according to the collected data and future perspective. The selected landfills are Väätsa, Torma and Viljandi landfill, which have been thoroughly examined by monitoring their landfill gases and disposal of waste. All the analysed landfills are equipped with gas collecting systems.

Based on the aim of this Master's Thesis a broad range of data was collected from multiple sources including interviews, emails and phone calls. All collected data was analyzed and grouped which allowed graphs and charts to be made. LandGEM model was used to analyse the yearly waste disposal to estimate amounts of landfill gas generated in the future.

Results from the analysis of the data from Väätsa landfill showed that yearly collected amounts of landfill gas increased in years 2010-2013 which is probably related to higher rates of municipal solid waste disposal. The biggest amount of landfill gas was collected in 2013. In following years the amounts of yearly collected landfill gas decreased. It was probably due to smaller amounts of waste disposed to landfill and its low content of organic matter.

The landfill gas monitoring data from Torma landfill has only one documented measurement. During 7 minute long measurement of collected amounts of landfill gas in 2014 showed that the content of methane decreased in landfill gas from 58,1% to 37%. From this measurement conclusion was made that the generation of landfill gas is low and its constant collection would be economically inefficient. There are no further measurements due to an accident in landfill gas station in 2015, that made the collection of landfill gas impossible.

The landfill gas monitoring data from Viljandi landfill showed that collected amounts of landfill gas increased until year 2014 and decreased in years 2015 and 2016. Landfill gas formed in closed landfill without disturbances. Therefore the graph of yearly landfill gas collection reminded of similar expected gas generation graph from literature (Williams 2005).

The statistics clearly show that the landfill gas generation in Väätsa, Torma and Viljandi landfills are diminishing. Based on this reality the author of this Master's Thesis suggests Väätsa landfill manager to start collecting and storing the material for the methane decomposition layer construction in Väätsa landfill. Offered suggestion would be economically efficient and would not need a constant supervision.

The amounts of generated landfill gas in Torma landfill may temporarily increase after the construction of regular cover which includes active landfill gas collection system but after some time the amounts of generated landfill gas start to decrease similarly to Viljandi landfill. If the landfill gas cannot be flared, the total or partial replacement of regular landfill cover should be considered in Viljandi and Torma landfills.

The examined landfills, Viljandi, Torma and Väätsa, could possibly start using methane decomposition layer to replace active landfill gas collection systems. Further analysis could be conducted to figure out whether the landfills should be partially or completely covered with the methane decomposition layer.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- Abichou, T., Powelson, D., Chanton, J.** (2004). Bio-Reactive Cover Systems. Report #04-0232006. Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management. University of Florida.
- Abushammala, M. F. M., Basri, N. E. A., Dani Irwan, D., Younes, M. Y.** (2014). Methane Oxidation in Landfill Cover Soils: A Review. - *Asian Journal of Atmospheric Environment*. Vol. 8, No. 1, pp. 1–14.
- Abushammala, M. F. M., Basri, N. E. A., Dani Irwan, D., Younes, M. Y.** (2014). Methane Oxidation in Landfill Cover Soils: A Review. - *Asian Journal of Atmospheric Environment*. Vol. 8, No 1., pp. 1–14. (ref Heinsoo 2016)
- ACUMEN project report - Managing landfill gas at closed and historic sites. (2015). Projekt. European Union LIFE+ Programme. 91 lk.
- Albanna, M., Fernandes, L., Warith, M.** (2007). Methane oxidation in landfill cover soil; the combined effects of moisture content, nutrient addition, and cover thickness. - *Journal of Environmental Engineering and Science*. Vol. 6, No. 2, pp. 191-200.
- Aun, K.** (13.04. 2017). Väätsa prügilast. Autori intervjuu. Üleskirjutis. Tallinn.
- Barker, T., Bashmakov, L., Bernstein, L., Bogner, J. E., Bosch, P., Dave, R. et al.** (2007) Technical Summary. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Metz,B., Davidson,O.R., Bosch,P.R., Dave,R., and Meyer,L.A. (eds). Cambridge United Kingdon and New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp. 26-93.
- Biogaasi eraldussüsteem, Viljandi prügila (Viljandi linn, Viljandimaa). (2011). Projekt. Gaas-Soojusprojekti OÜ. 10 lk.
- Bogner, J., Abdelrafie Ahmed, M., Diaz, C., Faaij, A., Gao, Q., Hashimoto, S., et al.** (2007) Waste Management, In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. B.Metz,O.R.D.P.R.B.R.D.L.A.M. (ed). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Bohn, S., Jager, J.** (2009). Microbial methane oxidation in landfill top covers – process study on an MBT landfill. - *Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium*. 5 - 9 October 2009, Italy, CISA Publisher

- Bosse, U., Frenzel, P.** (1997). Activity and Distribution of Methane-Oxidizing Bacteria in Flooded Rico Soil Microcosms and in Rice Plants (*Oryza sativa*). - *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 63, No. 4, pp. 1199 – 1207.
- Bove, R., Lunghi, P.** (2006). Electric power generation from landfill gas using traditional and innovative technologies. - *Energy Convers Manage*. Vol. 47 (11–12), pp. 1391–1401.
- Börjesson, G., Sundh, I., Tunlid, A., Svensson, B. H.** (1998). Methane oxidation in landfill cover soils, as revealed by potential oxidation measurements and phospholipid fatty acid analyses. - *Soil Biol. Biochem*. Vol. 30, No. 10-11, pp. 1423–1433.
- Cao, Y., Stazewska, E.** (2001). Methane Emission Mitigation from Landfill by Microbial Oxidation in Landfill Cover. - *International Conference on Environmental and Agriculture Engineering*. Vol.15. pp. 57 – 64, Singapore, IACSIT Publisher
- Cossu, R., Raga, R., Zane, M.** (2003). Methane Oxidation and Attenuation of Sulphurated Compounds in Landfill Top Cover Systems: Lab-Scale Test. - *Proceedings Sardinia 2003, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium*. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy.
- Climate & Air Coalition (2017). Koduleht. <http://www.ccacoalition.org/en> (20.05.2017)
- Czepiel, P. M., Shorter, J. H., Mosher, B., Allwine, E., McManus, J. B., Harriss, R. C., Kolb, C. E., Lamb, B. K.** (2003). The influence of atmospheric pressure on landfill methane emissions. - *Waste Management*. Vol. 23, No. 7, pp. 593–598.
- De Visscher, A., Thomas, D., Boeckx, P., Van Cleemput, O.** (1999). Methane Oxidation in Simulated Landfill Cover Soil Environments. - *Environ. Sci. Technol*. Vol. 33, No. 5, pp. 1854–1859.
- Eirola, J., Sormunen, K., Lensu, A., Leiskallio, A., Ettala, M., Rintala, J.** (2009). Methane oxidation at a surface-sealed boreal landfill. - *Waste Management*. Vol. 29, No. 7, pp. 2105–2120.
- Eklund, B., Andreson, E. P., Walker, B. L., Burrows, D. B.** (1998). Characterisation of landfill gas composition at the Fresh Kills municipal solid - waste landfill. - *Environmental Science and Technology*. Vol. 32, No. 15, pp. 2233-2237.
- Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2006/12. (vastu võetud 05.04.2006). - *Euroopa Liidu Teataja* <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:114:0009:0021:en:PDF> (17.05.2017)
- Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2008/98. (vastu võetud 19.11.2008, viimati jõustunud 17.09.2010). - *Euroopa Liidu Teataja* <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=celex%3A32008L0098> (17.05.2017)
- Euroopa Nõukogu prügiladirektiiv 1999/31. (vastu võetud 26.04.1999). - *Euroopa Liidu Teataja* [Ehttp://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=celex:31999L0031](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=celex:31999L0031) (17.05.2017)

- Euroopa Ühenduste komisjoni otsus 2000/738/EÜ. (vastu võetud 17.11.2000). - *Euroopa Liidu Teataja* <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=CELEX%3A32000D0738> (17.05.2017)
- Gebert, J., Gröngroft, A.** (2009). Role of soil gas diffusivity for the microbial oxidation of methane in landfill covers. - *Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium*. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 5 – 9 October 2009, CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Italy.
- Gebert, J., Gröngroft, A., Miehlich, G.** (2003). Kinetics of microbial landfill methane oxidation in biofilters. - *Waste Management*. Vol. 23, pp. 609–619.
- Gerzabek & Reichenauer (2007)**
- He, R., Ruan, A., Jiang, C., Shen, D.-S.** (2008). Responses of oxidation rate and microbial communities to methane in simulated landfill cover soil microcosms. - *Bioresource Technology*. Vol. 99, No. 15, pp. 7192–7199.
- Heinsoo, M.** (2016). Kudjape prügila metaanilagunduskatte uuring. (Magistritöö). Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut. Tartu.
- Hrad, M.** (2010). Quantification of landfill gas emissions in biocovers – an experimental simulation in lysimeters. (Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieurin). Universität für Bodenkultur Department für Wasser, Atmosphäre und Umwelt Institut für Abfallwirtschaft, Wien.
- Hrad, M., Huber-Humer, M., Wimmer, B., Reichenauer, T. G.** (2012). Design of top covers supporting aerobic in *situ* stabilization of old landfills – An experimental simulation in lysimeters. - *Waste Management*. Vol. 32, No. 12, pp. 2324–2335.
- Huber-Humer, M.** (2004). International research into landfill gas emissions and mitigation strategies – IWWG working group „„CLEAR““. - *Waste Management*. Vol. 24, No. 4, pp. 425–427.
- Huber-Humer, M.** (2004). Abatement of landfill methane emissions by microbial oxidation in biocovers made of compost. (Doctoral thesis). University of Natural Resources and Applied Life Sciences Vienna, Institute of Waste Management. (ref: Hrad 2010)
- Huber-Humer, M., Gebert, J., Hilger, H.** (2008). Biotic systems to mitigate landfill methane emissions. – *Waste Management & Research*. Vol. 26, No. 1, pp. 33–46.
- Huber-Humer, M., Röder, S., Lechner, P.** (2009). Approaches to assess biocover performance on landfills. - *Waste Management*. Vol. 29, No. 7, pp. 2092–2104.
- Humer, M., Lechner, P.** (1999). Alternative approach to the elimination of greenhouse gases from old landfills. - *Waste Management and Research*. Vol. 17, pp. 443–452.
- IPCC. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds. Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia,

- Y., Bex, V., Midgley, P.M.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPPC. (2007). Climate Change 2007: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds. Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Meyer, L.A.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Islam, T., Jensen, S., Reigstad, L. J., Larsen, O., Birkeland, N.-K.** (2007). Methane oxidation at 55°C and pH 2 by a thermoacidophilic bacterium belonging to the Verrucomicrobia phylum. - *PNAS*. Vol. 105, No. 1, pp. 300 – 304. (ref: Hrad 2010)
- Jain, P., Townsend, T. G., Johnson, P.** (2013). Case study of landfill reclamation at a Florida landfill site. - *Waste Management*. Vol. 33, No. 1, pp. 109–116.
- Järvamaa Väätsa vald Roovere küla Väätsa prügila laineduse detailplaneering. (2006). Detailplaneering. Arens Projekt OÜ. 21 lk.
- Jäätmekäitluse hetkeolukord. (12. juuni 2014). Alusdokument. Keskkonnaministeerium. [https://www.envir.ee/sites/default/files/jaatemekaitluse\\_hetkeolukord.pdf](https://www.envir.ee/sites/default/files/jaatemekaitluse_hetkeolukord.pdf)
- Jäätmeseadus. (vastu võetud 28.01.2004, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 24.06.2013). - *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/114062013006> (17.05.2017)
- Jürgens, J.** (20.04.2017). Torma prügilast. Autori intervjuu. Tallinn.
- Kightley, D., Nedwell, D. B., Cooper, M.** (1995). Capacity for methane oxidation in landfill cover soils measured in laboratory-scale soil microcosms. - *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 61., No 2, pp. 592 – 610.
- Kjeld, A., Cabral, A. R., Gústafsson, L. E., Andradóttir, H. Ó., Bjarnadóttir, H. J.** (2014). Microbial Methane Oxidation at the Fíflholt landfill in Iceland. - *Verktækni*. Vol. 20, No. 1, pp. 31–36.
- Kriipsalu, M., Maastik, A., Truu, J.** (2016) Jäätmekäitus ja pinnase tervendamine. Tallinn: TTÜ Kirjastus. 376 lk.
- Kriipsalu, M., Koppel, L.** (2013). Kudjape prügimäe uus elu. – Keskkonnatehnika. Nr 5, 13, lk 36–37.
- Latham, B., Young, A.** (1993). Modelization of the effects of barometric pressure on migrating landfill gas. - *Proceedings Sardinia 1993, Fourth International Waste Management and Landfill Symposium*. 11 – 15 October - vist pole kp vaja, CISA Publisher, Italy.
- Le Mer, J., Roger, P.** (2001). Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. - *Eur. J. Soil Biol.* Vol. 37, No. 1, pp. 25–50.
- Lelieveld, J., Crutzen, P. J., Bruhl, C.** (1993) Climate effects of atmospheric methane. - *Chemosphere*. Vol. 26, pp. 739–768. (ref. Le Mer & Roger 2001)
- Lillepõld, M.** ( 15.04.2017) Viljandi prügilast. Autori intervjuu. Üleskirjutis. Tallinn.

- Lombardi, L., Carnevale, E. A.** (2016). Analysis of an innovative process for landfill gas quality improvement. - *Energy*. Vol. 109, pp. 1107 - 1117.
- Lõhmus, A.** (13.04. 2017). Väätsa prügilast. Autori intervjuu. Üleskirjutis. Tallinn.
- Maa-amet. (2017). Maainfo kaardirakendus. <http://geoportaal.maaamet.ee/est/Kaardiserver-p2.html> (17.05.2017)
- Mei, C., Yazdani, R., Han, B., Mostafid, M. E., Chanton, J., VanderGheynst, J., Imhoff, P.** (2015). Performance of Green Waste Biocovers for Enhancing Methane Oxidation. - *Waste Management*. Vol. 39, No. 5, pp. 205–215.
- Nõukogu direktiiv 1999/31/EÜ, 26. aprill 1999, prügilate kohta. (vastu võetud 26.04.1999 jõustunud 16.07.1999). – *Euroopa Liidu Teataja*  
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:31999L0031&from=ET> (08.04.2017)
- Pedersen, G. B., Kjeldsen, P., & Scheutz, C.** (2010). Processes in a compost based landfill biocover; methane emission, transport and oxidation. Kgs. Lyngby, Denmark. Technical University of Denmark (DTU).
- Prügilajamise, kasutamise ja sulgemise nõuded. (vastu võetud 29.04.2004, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 01.01.2016). – *Riigi teataja*  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/119122015003?leia> Kehtiv (03.04.2017)
- Rasi, S., Lantela, J., Rintala, J.** (2014). Upgrading landfill gas using high pressure water absorption process. - *Fuel*. Vol. 115, pp. 539 - 543.
- Rasi, S., Lantela, J., Veijanen, A.** (2003) Landfill gas upgrading with countercurrent water wash. - *Journal of Waste Manage.* pp. 1528-1534.
- Ryckebosch, E., Drouillon, M., Vervaeren, H.** (2011) Techniques for transformation of biogas to biomethane. - *Biomass Bioenergy*. Vol. 35, pp. 1633–1645.
- Scheutz, C.** (2002) Attenuation of methane and trace organics in landfill soil covers. (PhD Thesis). Pp. 1-25. Environment & Ressources, Technical University of Denmark. (joonis: idealiseeritud gaasi kontsentratsioon prügilakatte kihtides)
- Scheutz, C., Kjeldsen, P.** (2004). Environmental factors influencing attenuation of methane and hydrochlorofluorocarbons in landfill cover soils. - *J. Environ. Qual.* Vol. 33, No. 1, pp. 72–79.
- Scheutz, C., Kjeldsen, P.** (2002). Methane oxidation and degradation of halocarbons in landfill soil covers. - In: *Third International Symposium on Non-CO2 Greenhouse Gases (NCGG-3)*. Maastricht, The Netherlands, 21–13 January, 2002.
- Scheutz, C., Kjeldsen, P., De Visscher, A., Gebert, J., Hilger, H. A., Huber-Humer, M., Spokas, K.** (2009). Microbial methane oxidation processes and technologies for mitigation of landfill gas emissions. - *Waste Management & Research*. Vol. 27, No. 5, pp. 409-45.



- Scheutz, C., Kjeldsen, P., Bogner, J., De Visscher, A., Gebert, J., Hilger, H. A., Huber-Humer, M., Spokas, K.** (2009). Microbial methane oxidation processes and technologies for mitigation of landfill gas emissions. - *Waste Management & Research*. Vol. 27, No. 5, pp. 409–455.
- Sillamäe prügila sulgemislahenduse keskkonnamõju hindamine. (2008). Aruanne. AS Kommunaalprojekt. 53 lk.
- Stralis-Pavese, N. Sessitsch, A., Weilharter, A., Reichenauer, T., Riesing, J., Csontos, J., Murrell, J. C., Bodrossy, L.** (2004). Optimization of diagnostic microarray for application in analysing landfill methanotroph communities under different plant covers. - *Environmental Microbiology*. Vol. 6 (4), pp. 347–363.
- Streese, J., Stegmann, R.** (2003). Microbial oxidation of methane from old landfills in biofilters. - *Waste Management*. Vol 23, No 7, pp. 573–580.
- Zeiss, C. A.** (2006). Accelerated methane oxidation cover system to reduce greenhouse gas emissions from MSW Landfills in cold, semi, arid regions. - *Water, Air, and Soil Pollution*. Vol. 176, pp. 285–306. (ref.Hrad)
- Tchobanoglous, G., Kreith, F.** (2002). Handbook of solid waste management. New York: McGraw-Hill. 950 pp.
- Tecle, D., Lee, J., Hasan, S.** (2009). Quantitative analysis of physical and geotechnical factors affecting methane emission in municipal solid waste landfill. - *Environ. Geol.* Vol. 56, pp. 1135 - 1143.
- Torma prügila ladestusalade sulgemise keskkonnamõjude hindamine. (2016). Aruanne. Paadilaenutus OÜ. 54 lk.
- Torma prügila ladestusalade sulgemiskava. (2017). Projekt. Aarens Projekt OÜ. 31 lk.
- Viljandi prügila (Viljandi linn, Viljandimaa) sulgemise keskkonnamõju hindamine. (2008). Aruanne. Hendrikson & Ko. 87 lk.
- Viljandi prügila sulgemise projekteerimis- ja ehitustööd. (2011). Projekt. Kobras AS. 38 lk. (joonis: Olmeprügila kattekiht ja gaasi väljapääsuava)
- Visvanathan, C., Pokhrel, D., Cheimchaisri, W., Hettiaratchi, J. P. A., Wu, J. S.** (1999). Methanotrophic activities in tropical landfill cover soils: effect of temperature, moisture content and methane concentration. - *Waste Management and Research*. Vol. 17, pp. 313 – 323.
- Vändra tavajäätmepürgila sulgemine. (2009). Aruanne AS Maves. 44 lk.
- Väätsa prügila detailplaneering. (2006) - *Väätsa vald*.  
<http://vaatsa.kovtp.ee/detailplaneeringud> (17.05.2017)
- Wang, J., Xia, F-F., Bai, Y., Fang, C-R., Shen, D-S., He, R.** (2011). Methane oxidation in landfill waste biocover soil: Kinetics and sensitivity to ambient conditions. - *Waste Management*. Vol. 31, No. 5, pp. 864–870.

- Whalen, S. C., Reeburgh, W. S., Sandbeck, K. A.** (1990). Rapid methane oxidation in a landfill cover soil. - *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 56, pp. 3405–3411.
- Williams, P. T.** (2005). Waste Treatment and Disposal. (2nd ed.). England: John Wiley & Sons Ltd. pp. 171-244. (Joonis: gaaside muutus ajas)
- Wilson, D., G.** (1976). A brief history of solid waste management. - *The International Journal of environmental studies*. Vol. 9, No. 11, pp. 123 - 129.
- Xiaoli, C., Ziyang, L., Shimaoka, T., Nakayama, H., Ying, Z., Xiaoyan, C., Komiya, T., Ishizaki, T., Youcai, Z.** (2010). Characteristics of environmental factors and their effects on CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emissions from a closed landfill: An ecological case study of Shanghai. - *Waste Management*. Vol. 30, pp. 446–451.
- Youcai, Z., Ziyang, L.** (2017) Pollution Control and Resource Recovery. Elsevier: Cathleen Sether. 382 pp.

**LISAD**

## LISA 1. Väätsa prügila andmed

Tabel 1.1. Väätsa prügila Gaasimõõduri näidud ja keskmised metaani sisaldused

Kuupäev	Keskmine CH <sup>4</sup> %	Gaasi kogus (m <sup>3</sup> )
08.01.2010	39,5	217 537,39
02.02.2010	37	220 256,35
16.02.2010	37	224 369,01
15.03.2010	33,5	232 159,11
26.03.2010	39	235 071,79
07.04.2010	34	237 994,20
24.04.2010	28	241 864,76
17.05.2010	38,5	247 201,43
28.05.2010	30	249 707,69
11.06.2010	40,5	252 996,20
16.07.2010	40	260 782,65
30.07.2010	37,5	262 408,38
11.08.2010	38	263 118,87
19.08.2010	46,5	
27.08.2010	47,5	
27.01.2011	25,5	40 379,94
23.03.2011	43	49 335,80
12.04.2011	38,5	
02.05.2011	36	61 183,10
03.06.2011	33	68 940,23
20.06.2011	41,5	74 001,75
03.08.2011	40,5	86 654,75
19.08.2011	44,5	91 343,06
02.09.2011	40	95 084,26
21.09.2011	46,5	100 272,92
08.04.2012	61,5	132 196,92
18.05.2012	51	141 525,21
19.06.2012	60	149 409,38
16.07.2012	63	159 836,95
27.08.2012	57,5	163 941,84
24.09.2012	55,5	169 387,25
29.10.2012	50	183 451,39
27.12.2012	40,5	215 386,90
01.02.2013	29, 5	272884
04.03.2013	28,5	310846
08.04.2013	26	374581
17.05.2013	15,5	431188

29.07.2013	18	535346
30.08.2013	18,5	572182
02.10.2013	15,5	612310
01.11.2013	41,5	646502
06.02.2014	34,00	706031
07.03.2014	30,5	719779
10.03.2014	49,5	
11.03.2014	50,5	
12.03.2014	51,5	
13.03.2014	49,5	
14.03.2014	50,5	
17.03.2014	46	
18.03.2014	45,5	
19.03.2014	44	
20.03.2014	49,5	
21.03.2014	45,5	
24.03.2014	46	
24.03.2014	39,5	
25.03.2014	46,5	721287, 2767
26.03.2014	51,5	721356, 2847
26.03.2014	35,5	
27.03.2014	43	721395, 3055
27.03.2014	40,5	
28.03.2014	32,5	721490, 3241
28.03.2014	34,5	
31.03.2014	37	721894, 3603
31.03.2014	42	
01.04.2014	38,5	722019, 3747
01.04.2014	35,5	
02.04.2014	38,5	722148, 3878
02.04.2014	36,5	
03.04.2014	43	722281, 4001
03.04.2014	41	
04.04.2014	31	
07.04.2014	52,5	722645, 4372
08.04.2014	47,5	722645, 4513
08.04.2014	41	
09.04.2014	54,5	722658, 4621
09.04.2014	39,5	
10.04.2014	57,5	722659, 4742
10.04.2014	40,5	
11.04.2014	43	722675, 4967
11.04.2014	39	
18.01.2016	26	
19.01.2016	56	

21.01.2016	29	
22.01.2016	46	
24.01.2016	40	
25.01.2016	45	
26.01.2016	42,5	
27.01.2016	36	
28.01.2016	46	
29.01.2016	37	
01.02.2016	39	
02.02.2016	45	
03.02.2016	43	
04.02.2016	36	
05.02.2016	36	
08.02.2016	34	
09.02.2016	53	
10.02.2016	34	
11.02.2016	35	
12.02.2016	54	
15.02.2016	36	
16.02.2016	28	
17.02.2016	38	
22.02.2016	47,5	
23.02.2016	44,5	
25.02.2016	41	
29.02.2016	27	
01.03.2016	39	63470
02.03.2016	41	
07.03.2016	27,5	
08.03.2016	31	
09.03.2016	32	
10.10.2016	41	
11.10.2016	38	
12.10.2016	34	
13.10.2016	36	
14.10.2016	35	
17.10.2016	41,5	
18.10.2016	49	
19.10.2016	37,5	
20.10.2016	42	
21.10.2016	32	
02.11.2016	41	
11.11.2016	40,5	
18.11.2016	32,5	
21.11.2016	39	
25.11.2016	45,5	

29.11.2016	40	
30.11.2016	38,5	
06.11.2016	31,5	
08.11.2016	35,5	
11.12.2017	35,5	
12.12.2016	33,5	
13.12.2016	33	
14.12.2016	30	
16.12.2016	38,5	
18.12.2016	33,5	
20.12.2016	35,5	
21.12.2016	34,5	
22.12.2016	43	
23.12.2016	42,5	
24.12.2016	37,5	
27.12.2017	39,5	
28.12.2016	34	
29.12.2016	35	
30.12.2016	37	

**Tabel 1.2.** Väätsa prügila

<b>Kuupäev</b>	<b>Aastased prügilagaasi ladestuskogused</b>	<b>Ladestatud jäätmete kogus (t)</b>	<b>CH<sup>4</sup> %</b>
01.01.2001		213	
01.01.2002		6176	
01.01.2003		15617	
01.01.2004		16473	
01.01.2005		16710	
01.01.2006		18672	
01.01.2007		27062	
01.01.2008		24029	
01.01.2009		21676	
01.01.2010	45581	24284	37,77
01.01.2011	100273	25133	38,90
01.01.2012	115114	28480	54,88
01.01.2013	431115	5565	24,13
01.01.2014	76173	5666	45,10
01.01.2015	63470	6167	
01.01.2016	16092	6822	38,14

## LISA 2. Viljandi prügila algandmed

Tabel 2.1. Viljandi prügila

kuupäev	gaasi kogus m <sup>3</sup>	Keskmine CH <sup>4</sup>
09.11.2012	31106,27	63,25
10.04.2013	4098,6	0
10.07.2013	69451,75	48,625
03.09.2013	54678,75	0
08.12.2013	84540,60	46,25
03.03.2014	55517,25	47,5
30.06.2014	68389,65	49,125
30.09.2014	83187,3	49
31.12.2014	96630,7	40,125
31.03.2015	55620,7	46,5
29.06.2015	79105,0	39,75
25.09.2015	10100,1	49,625
28.12.2015	10008,4	50,125
29.03.2016	10100,3	35,625
29.06.2016	9200,4	49,875
29.09.2016	4000,9	57,875
28.12.2016	5000	12,25
30.03.2017	3575	59,125



### LISA 3. Torma prügila algandmed

**Tabel 3.1. Torma prügila jäätmete ladestusandmed**

Aasta	Aastased ladestustatud jäätmed (t)
2001	435
2002	4673
2003	7549
2004	7209
2005	6944
2006	7194
2007	7518
2008	7727
2009	34886
2010	57320
2011	47349
2012	36807
2013	22254
2014	2249
2015	5217

Mina, Christopher-Andre Kontus,

sünniaeg 24.07.1993,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö “Prügilagaasi kogumine Eesti prügilates Väätsa, Torma ja Viljandi”,

mille juhendajad on professor Mait Kriipsalu ja professor Valdo Kuusemets,

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_

*(allkiri)*

Tartu, \_\_\_\_\_

*(kuupäev)*

---

### **Juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
*(juhendaja nimi ja allkiri)*

\_\_\_\_\_  
*(kuupäev)*

\_\_\_\_\_  
*(juhendaja nimi ja allkiri)*

\_\_\_\_\_  
*(kuupäev)*